



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PADA *MASTER PLAN*  
SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN 500 kV  
MENGUNAKAN *TIME DOMAIN SIMULATION***

Nur Atiqah Rianty Sari  
NRP 07111645000051

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.  
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi ELEKTRO  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - TE 141599**

**TRANSIENT STABILITY ANALYSIS MASTER PLAN  
500 kV OF ELECTRICAL SYSTEM KALIMANTAN  
USING TIME DOMAIN SIMULATION**

Nur Atiqah Rianty Sari  
NRP 07111645000051

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisis Kestabilan Transien Pada *Master Plan* Sistem Kelistrikan Kalimantan 500 kV Menggunakan *Time Domain Simulation***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Nur Atiqah Rianty Sari  
NRP 07111645000051

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PADA MASTER PLAN  
SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN 500 kV  
MENGUNAKAN TIME DOMAIN SIMULATION**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Sistem Tenaga Listrik  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.  
NIP. 196308171990031001



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



# **ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PADA *MASTER PLAN* SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN 500 kV MENGUNAKAN *TIME DOMAIN SIMULATION***

**Nama : Nur Atiqah Rianty Sari**  
**Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT**  
**2. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT**

## **ABSTRAK**

Pemanfaatan kebutuhan energi listrik di pulau Kalimantan semakin meningkat, sehingga membutuhkan sistem transmisi yang mampu menyalurkan daya secara optimal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Untuk mewujudkan hal tersebut, Perusahaan Listrik Negara (PLN) merencanakan pengembangan transmisi *master plan* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Rencana pengembangan sistem transmisi menghubungkan antara provinsi Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Dengan pengembangan sistem transmisi tersebut, maka diperlukan analisis kestabilan transien terhadap sistem. Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan transien menggunakan metode domain waktu (*Time Domain Simulation*, TDS) akibat generator lepas (*generator outage*) dan gangguan hubung singkat 3 fasa (*short circuit*). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi pada sistem. Hasil simulasi yang diperoleh akibat generator lepas adalah sistem kehilangan suplai daya terbesar dari total pembangkitan untuk tahun 2023-2050 yaitu 5,78%. Saat gangguan hubung singkat 3 fasa pada bus dan satu saluran *double circuit* 500 kV sistem dapat kembali stabil.

**Kata Kunci : Kestabilan Transien, Sistem Kelistrikan Kalimantan, *Time Domain Simulation***

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# ***Transient Stability Analysis Masterplan 500 kV of Power System Kalimantan Using Time Domain Simulation***

**Name : Nur Atiqah Rianty Sari**  
**Advisor : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**  
**2. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT**

## ***ABSTRACT***

*Utilization of electrical energy in Kalimantan Island was growing, then capacity of generator with the load must be balanced. To achieve this, PLN plans the development of a master plan 500 kV electrical system Kalimantan. The plans develop a backbone transmission system that connects the provinces of West Kalimantan, Central Kalimantan, South Kalimantan, East Kalimantan, and North Kalimantan. With the occurrence of development, then required power system analysis. In this final project, transient stability analysis will be done using TDS (Time Domain Simulation) generated by generator outage and short circuit at bus masterplan 500 kV Kalimantan.. The goal is to know the response of rotor angle, voltage, and frequency on the system. The results show that, when the generator outage system disruption loses power supply from total of generating from 2023-2050 as much as 5,78%. In the event of short-circuit bus interruption at bus and one of double circuit line 500 kV can be recovered in steady state conditions.*

***Keywords:*** *Transient Stability, Electrical System of Kalimantan, Time Domain Simulation*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

### **ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN PADA *MASTER PLAN* SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN 500 kV MENGUNAKAN *TIME DOMAIN SIMULATION***

Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, saya sebagai penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Papa, Mama, Mas Sulung, dan Adik Agil yang selalu memberikan doa dan selalu memberikan semangat untuk kelancaran Tugas Akhir penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam mengerjakan Tugas Akhir serta penyusunan laporan Tugas Akhir.
4. Teman-teman LJ 2016 yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dan mohon maaf atas segala kekurangan pada tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# DAFTAR ISI

## HALAMAN

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK .....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxv
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	4
1.7 Relevansi .....	5
 BAB II TEORI DASAR .....	 7
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga .....	7
2.1.2 Kestabilan Sudut Rotor ( <i>Rotor Angle Stability</i> ) [12] .....	8
2.1.3 Kestabilan Tegangan ( <i>Voltage Stability</i> ) [13] .....	9
2.1.4 Kestabilan Frekuensi ( <i>Frequency Stability</i> ) [12] .....	9
2.2 Kestabilan Transien .....	9
2.3 Persamaan Ayunan ( <i>Swing Equation</i> ) [16] .....	12
2.4 TDS ( <i>Time Domain Simulation</i> ) [17] .....	13
2.5 Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien ....	14
2.5.1 Standar Frekuensi [18] .....	14
2.5.2 Standar Tegangan [19] .....	15
 BAB III SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN .....	 17
3.1 Sistem Transmisi Kalimantan .....	17
3.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan <i>Backbone</i> 500 kV .....	17
3.3 Data Beban Kalimantan Tahun 2023-2050 .....	18

3.4 Data Kapasitas Pembangkit Tahun 2023 .....	23
3.5 Data Saluran Sistem Interkoneksi <i>Backbone</i> 500 kV Kalimantan.....	29
3.6 Metodologi Simulasi.....	36
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>39</b>
4.1 Studi Kasus Kestabilan Transien <i>Masterplan</i> Sistem Kelistrikan Kalimantan 500 kV Tahun 2023-2050.....	39
4.2 Hasil Simulasi Kestabilan Transien .....	41
4.2.2 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalbar 2 Tahun 2023 ( $t=0,2s$ ).....	41
4.2.3 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>generator outage</i> pada PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Tahun 2023 ( $t=0,2s$ ).....	45
4.2.4 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 <i>Short Circuit</i> Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang Tahun 2023 ( $t=2s$ ).....	49
4.2.5 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalsel 1 Tahun 2026 ( $t=0,2s$ ) .....	51
4.2.6 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) Tahun 2026 ( $t=0,2s$ ).....	55
4.2.7 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV Tahun 2026 ( $t=2s$ ).....	59
4.2.8 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kaltim 4 Tahun 2029 ( $t=0,2 s$ ) .....	61
4.2.9 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) Tahun 2029 ( $t=0,2s$ ).....	64
4.2.10 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 <i>Short Circuit</i> Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Bontang-Tanjung Redep Tahun 2029 ( $t=2s$ ).....	68
4.2.11 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator outage</i> pada PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) Tahun 2032 ( $t=0,2s$ ).....	71
4.2.12 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>Generator outage</i> pada LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 2032 ( $t=0,2$ )..	75



4.2.13 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 <i>Short Circuit</i> Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit Tahun 2032 (t=2s) .....	79
4.2.14 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Gangguan <i>Generator Outage</i> pada LNG Sei Raya1 Tahun 2035 (t=0,2s).....	82
4.2.15 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 Gangguan <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) Tahun 2035 (t=0,2s).....	85
4.2.16 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 <i>Short Circuit</i> Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya Tahun 2035 (t=2s) .....	90
4.2.17 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Tahun 2040 (t=0,2s) .....	92
4.2.18 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Tahun 2040 (t=0,2s) .....	96
4.2.19 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin Tahun 2040 (t=2s) .....	100
4.2.20 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalbar Cemara 400 MW Tahun 2045 (t=0,2s) .....	102
4.2.21 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 <i>Generator Outage</i> pada Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) Tahun 2045 (t=0,2s) .....	106
4.2.22 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang 500 kV Tahun 2045 (t=2s) .	109
4.2.23 Simulasi Kestabilan Kasus 1 <i>Generator Outage</i> pada Kaltimra Manggar 400 MW Tahun 2050 (t=0,2s) .....	111
4.2.24 Simulasi Kestabilan Kasus 2 <i>Generator Outage</i> pada PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Tahun 2050 (t=0,2s).....	115
4.2.25 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang Tahun 2050 (t=2s) .....	119
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	121
5.1 Kesimpulan .....	121
5.2 Saran .....	121

DAFTAR PUSTAKA .....	123
LAMPIRAN.....	125
INDEKS .....	129
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	133
RIWAYAT HIDUP .....	135

## DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

<b>Gambar 2.1</b>	Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga [12].....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva Sudut Daya untuk Kestabilan Transien [14].	10
<b>Gambar 2.3</b>	Respon Sudut Rotor Akibat Gangguan Transien [15] .....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Standar Frekuensi Abnormal <i>Steam Turbine Generator</i> .....	14
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flow Chart</i> Metodologi Simulasi .....	37
<b>Gambar 4.1</b>	Respon Sudut Rotor Generator Saat PLTU Kalbar 2 <i>Trip</i> .....	42
<b>Gambar 4.2</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 <i>Trip</i> .....	43
<b>Gambar 4.3</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 <i>Trip</i> .....	43
<b>Gambar 4.4</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 <i>Trip</i> .....	44
<b>Gambar 4.5</b>	Respon Frekuensi pada Bus <i>Backbone</i> 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 <i>Trip</i> .....	44
<b>Gambar 4.6</b>	Respon Sudut Rotor saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	46
<b>Gambar 4.7</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	46
<b>Gambar 4.8</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	47
<b>Gambar 4.9</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	47
<b>Gambar 4.10</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	48
<b>Gambar 4.11</b>	Respon Sudut Rotor Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang .....	49
<b>Gambar 4.12</b>	Respon Tegangan Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang .....	49
<b>Gambar 4.13</b>	Respon Frekuensi Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang .....	50
<b>Gambar 4.14</b>	Respon Sudut Rotor Generator Saat PLTU Kalsel 1 <i>Trip</i> .....	52

<b>Gambar 4.15</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV saat PLTU Kalsel 1 <i>Trip</i> .....	52
<b>Gambar 4.16</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV saat PLTU Kalsel <i>Trip</i> .....	53
<b>Gambar 4.17</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel 1 <i>Trip</i> .....	53
<b>Gambar 4.18</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel 1 <i>Trip</i> .....	54
<b>Gambar 4.19</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) <i>Trip</i> .....	56
<b>Gambar 4.20</b>	Respon Tegangan pada bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) <i>Trip</i> .....	56
<b>Gambar 4.21</b>	Respon Frekuensi pada Bus <i>backbone</i> 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) <i>Trip</i> .....	57
<b>Gambar 4.22</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) <i>Trip</i> .....	57
<b>Gambar 4.23</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) <i>Trip</i> .....	58
<b>Gambar 4.24</b>	Respon Sudut Rotor Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV.....	59
<b>Gambar 4.25</b>	Respon Tegangan Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV.....	60
<b>Gambar 4.26</b>	Respon Frekuensi Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV.....	60
<b>Gambar 4.27</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kaltim 4 <i>trip</i> .....	61
<b>Gambar 4.28</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 <i>trip</i> .....	62
<b>Gambar 4.29</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 <i>trip</i> .....	62
<b>Gambar 4.30</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 <i>trip</i> .....	64
<b>Gambar 4.31</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 <i>trip</i> .....	64
<b>Gambar 4.32</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>trip</i> .....	65
<b>Gambar 4.33</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	65
<b>Gambar 4.34</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	66

<b>Gambar 4.35</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	66
<b>Gambar 4.36</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	67
<b>Gambar 4.37</b>	Respon Sudut Rotor Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Bontang-Tanjung Redep ....	68
<b>Gambar 4.38</b>	Respon Tegangan Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Bontang-Tanjung Redep ....	69
<b>Gambar 4.39</b>	Respon Frekuensi Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Bontang-Tanjung Redep ....	69
<b>Gambar 4.40</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	72
<b>Gambar 4.41</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>trip</i> .....	72
<b>Gambar 4.42</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	73
<b>Gambar 4.43</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	73
<b>Gambar 4.44</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	74
<b>Gambar 4.45</b>	Respon Sudut Rotor Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>Trip</i> .....	76
<b>Gambar 4.46</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>Trip</i> .....	76
<b>Gambar 4.47</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>Trip</i> .....	77
<b>Gambar 4.48</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>Trip</i> .....	77
<b>Gambar 4.49</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>Trip</i> .....	78
<b>Gambar 4.50</b>	Respon Sudut Rotor Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit .....	79
<b>Gambar 4.51</b>	Respon Tegangan Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit .....	80
<b>Gambar 4.52</b>	Respon Frekuensi Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit .....	81
<b>Gambar 4.53</b>	Respon Sudut Rotor 3 Generator Saat LNG Sei Raya1 <i>Trip</i> .....	82

<b>Gambar 4.54</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 <i>Trip</i> .....	83
<b>Gambar 4.55</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 <i>Trip</i> .....	83
<b>Gambar 4.56</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 <i>Trip</i> .....	84
<b>Gambar 4.57</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 <i>Trip</i> .....	84
<b>Gambar 4.58</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	86
<b>Gambar 4.59</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	87
<b>Gambar 4.60</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	87
<b>Gambar 4.61</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	89
<b>Gambar 4.62</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>Trip</i> .....	89
<b>Gambar 4.63</b>	Respon Sudut Rotor Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya.....	90
<b>Gambar 4.64</b>	Respon Tegangan Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya.....	90
<b>Gambar 4.65</b>	Respon Frekuensi Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya.....	91
<b>Gambar 4.66</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	92
<b>Gambar 4.67</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	93
<b>Gambar 4.68</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	94
<b>Gambar 4.69</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	94
<b>Gambar 4.70</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	95
<b>Gambar 4.71</b>	Respon Sudut Rotor 3 Generator Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	97
<b>Gambar 4.72</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	97

<b>Gambar 4.73</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	98
<b>Gambar 4.74</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	98
<b>Gambar 4.75</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>Trip</i> .....	99
<b>Gambar 4.76</b>	Respon Sudut Rotor Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin .....	100
<b>Gambar 4.77</b>	Respon Tegangan Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin .....	101
<b>Gambar 4.78</b>	Respon Frekuensi Saat Lepas Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin .....	101
<b>Gambar 4.79</b>	Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>Trip</i> .....	103
<b>Gambar 4.80</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>Trip</i> .....	103
<b>Gambar 4.81</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>Trip</i> .....	104
<b>Gambar 4.82</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>Trip</i> .....	104
<b>Gambar 4.83</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>Trip</i> .....	105
<b>Gambar 4.84</b>	Respon Sudut Rotor Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> ...	106
<b>Gambar 4.85</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	107
<b>Gambar 4.86</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	107
<b>Gambar 4.87</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>Trip</i> .....	108
<b>Gambar 4.88</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW (1) <i>Trip</i> .....	108
<b>Gambar 4.89</b>	Respon Sudut Rotor pada Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang .....	110

<b>Gambar 4.90</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang .....	110
<b>Gambar 4.91</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang .....	111
<b>Gambar 4.92</b>	Respon Sudut Rotor Saat Kaltimra Manggar 400 MW <i>Trip</i> .....	112
<b>Gambar 4.93</b>	Respon Tegangan Bus 150 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW <i>Trip</i> .....	112
<b>Gambar 4.94</b>	Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW <i>Trip</i> .....	113
<b>Gambar 4.95</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW <i>Trip</i> .....	113
<b>Gambar 4.96</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW <i>Trip</i> .....	114
<b>Gambar 4.97</b>	Respon Sudut Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	116
<b>Gambar 4.98</b>	Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	116
<b>Gambar 4.99</b>	Respon Frekuensi pada Bus 150 kV PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	117
<b>Gambar 4.100</b>	Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	117
<b>Gambar 4.101</b>	Respon Frekuensi pada Bus 500 kV PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>Trip</i> .....	118
<b>Gambar 4.102</b>	Respon Sudut Rotor Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang .....	119
<b>Gambar 4.103</b>	Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang .....	119
<b>Gambar 4.104</b>	Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Gangguan <i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang .....	120



## DAFTAR TABEL

### HALAMAN

<b>Tabel 3.1</b>	Data Kapasitas Beban Kalimantan Barat Tahun 2023	19
<b>Tabel 3.2</b>	Data Kapasitas Beban Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah Tahun 2023 .....	20
<b>Tabel 3.3</b>	Data Kapasitas Beban Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara 500 kV Tahun 2023 .....	21
<b>Tabel 3.4</b>	Data Penambahan Kapasitas Beban Kalimantan 500 kV Tahun 2026-2050.....	23
<b>Tabel 3.5</b>	Data Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2023	23
<b>Tabel 3.6</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2026.....	25
<b>Tabel 3.7</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2029.....	26
<b>Tabel 3.8</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2032.....	26
<b>Tabel 3.9</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2035.....	26
<b>Tabel 3.10</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2040.....	27
<b>Tabel 3.11</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2045.....	27
<b>Tabel 3.12</b>	Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2050.....	28
<b>Tabel 3.13</b>	Data Saluran <i>Backbone</i> 500 kV Area Kalimantan Barat .....	29
<b>Tabel 3.14</b>	Data Saluran <i>Backbone</i> 500 kV Area Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah .....	30
<b>Tabel 3.15</b>	Data Saluran <i>Backbone</i> 500 kV Area Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara .....	33
<b>Tabel 4.1</b>	Studi Kasus Kestabilan Transien .....	39

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peningkatan kebutuhan beban setiap tahun membutuhkan suplai daya yang optimal [1]. Untuk memenuhi hal tersebut, diperlukan sistem interkoneksi yang mampu menyalurkan daya untuk memenuhi kebutuhan beban. Perusahaan Listrik Negara (PLN) merencanakan pengembangan sistem transmisi di Pulau Kalimantan yang terinterkoneksi antar provinsi. Pengembangan sistem transmisi dapat menyebabkan sistem mengalami perubahan kestabilan. Perubahan kestabilan disebabkan karena gangguan kecil dan gangguan besar (transien). Gangguan yang terjadi ditandai dengan aktivitas dari generator mengalami perubahan kecepatan dan beban secara tiba-tiba. Oleh karena itu, generator harus dapat mempertahankan sinkronisasi dengan generator lain agar kestabilan sistem tetap terjaga [2].

Kestabilan sistem tenaga merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi awal setelah mengalami gangguan. Kestabilan terbagi menjadi tiga yaitu kestabilan sudut rotor, frekuensi, dan tegangan. Kestabilan sudut rotor tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanik pada masing-masing generator. Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan frekuensi stabil setelah mengalami gangguan yang besar akibat dari kapasitas pembangkit yang tidak dapat menanggung kebutuhan beban [3]. Kestabilan tegangan tergantung pada kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keseimbangan antara suplai daya reaktif dengan daya beban. Ketidakstabilan tegangan pada sistem transmisi menyebabkan tegangan turun (*drop voltage*) sehingga suplai daya terputus [4].

Kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keseimbangan antara suplai daya dengan beban. Kestabilan transien disebabkan gangguan besar seperti gangguan generator lepas (*generator outage*), gangguan hubung singkat (*short circuit*), dan perubahan beban secara tiba-tiba [5]. Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kestabilan transien adalah sudut rotor relatif dari dua generator pada sistem tenaga listrik kurang dari 180 derajat dan osilasi diredam, tegangan pada bus dapat kembali diatas 0,8 p.u dan setelah gangguan tidak boleh berada pada tegangan 0,75 p.u dalam waktu lebih

dari satu detik. Nilai frekuensi tidak boleh dibawah 47 Hz selama 0,5 detik [6].

Salah satu metode yang digunakan untuk analisis kestabilan transien adalah simulasi domain waktu (*Time Domain Simulation*, TDS). TDS [7] merupakan metode paling akurat dan handal untuk menyelesaikan masalah kestabilan transien. TDS adalah metode untuk mengetahui kestabilan transien berdasarkan waktu simulasi (*simulation time*) yang diberikan. Output dari TDS digunakan untuk menganalisis kestabilan transien sampai sistem mendapatkan nilai stabil atau tidak stabil sehingga program TDS dapat diakhiri. Waktu simulasi dapat diatur lebih dari 5 detik agar hasil yang diperoleh lebih handal [8]. Penelitian ini menggunakan *software* DigSILENT Power Factory untuk mengetahui hasil dari kestabilan transien. Pada referensi [4][9], penulis mendapatkan hasil penelitian dari stabilitas tegangan pada sistem tenaga listrik dan pemodelan sistem transmisi menggunakan DigSILENT Power Factory dengan efisien dan stabil.

Perencanaan pengembangan transmisi *masterplan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan merupakan upaya untuk menyalurkan kebutuhan beban yang semakin meningkat. Rencana pengembangan ini menghubungkan *backbone* antara provinsi Kalimantan Barat (Pontianak dan Ketapang), Kalimantan Tengah (Sampit dan Palangkaraya), Kalimantan Selatan (Banjarmasin), Kalimantan Timur (Balikpapan, Samarinda, dan Bontang), dan Kalimantan Utara (Tanjung Redep). Pengembangan sistem transmisi ini juga memperhatikan penambahan beban dan penambahan kapasitas pembangkit setiap tahunnya. Dengan adanya pengembangan tersebut maka diperlukan kestabilan transien sistem kelistrikan Kalimantan pada tahun 2023-2050.

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang *masterplan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan.
2. Bagaimana respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi pada *masterplan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan saat dilakukan analisis kestabilan transien.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Tugas akhir ini menggunakan DigSILENT *PowerFactory* 15.

2. Analisis kestabilan transien dilakukan pada *master plan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan.
3. Analisis kestabilan transien pada *master plan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan tahun 2023, 2026, 2029, 2032, 2035, 2040, 2045, dan 2050.
4. Jalur *backbone* yang digunakan merupakan jalur selatan dari provinsi Kalimantan Barat (Pontianak dan Ketapang), Kalimantan Tengah (Sampit dan Palangkaraya), Kalimantan Selatan (Banjarmasin), Kalimantan Timur (Balikpapan, Samarinda, dan Bontang), dan Kalimantan Utara (Tanjung Redep).
5. Studi kasus yang dipilih adalah *generator outage* dan *short circuit* pada bus serta satu saluran *double circuit* sistem transmisi 500 kV.

#### 1.4 Tujuan

Tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui rancangan *master plan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan setelah dilakukan interkoneksi.
2. Untuk mengetahui respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi setelah dilakukan simulasi kestabilan transien pada *master plan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan.

#### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Mengumpulkan referensi buku dan *paper* mengenai analisis sistem tenaga (*power system analysis*) yang dapat digunakan sebagai referensi dalam menganalisis kestabilan transien.
2. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data-data sistem kelistrikan Kalimantan pada rating tegangan 150 kV dan *masterplan* 500 kV . Data-data yang dibutuhkan meliputi data beban, kapasitas pembangkit, kapasitas trafo, tipe dan impedansi saluran (*line*), serta rating tegangan pada bus tahun 2023-2050.
3. Pemodelan Sistem  
Memodelkan sistem kelistrikan Kalimantan dalam bentuk *single line diagram* pada tahun 2023-2050 dan memasukkan data-data

yang sudah didapatkan menggunakan *software* DigSILENT *PowerFactory* 15.1 agar dapat melakukan simulasi kestabilan transien.

4. Simulasi dan Analisis Kestabilan Transien

Simulasi yang dilakukan setelah melakukan pemodelan berupa *single line diagram* merupakan simulasi aliran daya (*load flow*). Setelah itu melakukan analisis kestabilan transien dengan memberikan gangguan transien yaitu *generator outage* dan *short circuit* pada bus serta satu saluran *double circuit* sistem transmisi 500 kV maka dapat di respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi.

4. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan dari kestabilan sistem akibat gangguan yang terjadi pada *master plan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan pada tahun 2023-2050 dan memberikan rekomendasi solusi yang dapat dilakukan sehingga sistem tetap dalam keadaan stabil.

## 1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan uraian sebagai berikut:

**Bab I: Pendahuluan**

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan relevansi.

**Bab II: Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan secara umum teori penunjang mengenai kestabilan transien.

**Bab III: Sistem Kelistrikan Kalimantan Masterplan 500 kV**

Bab ini membahas tentang sistem kelistrikan Kalimantan dan penambahan beban, tipe dan impedansi saluran transmisi yang digunakan, serta penambahan kapasitas pembangkit pada tahun 2023-2050.

**Bab IV: Simulasi dan Analisis**

Bab ini membahas tentang simulasi kestabilan transien menggunakan DigSILENT *PowerFactory*. Selanjutnya melakukan simulasi kestabilan transien dengan gangguan *generator outage* dan *short circuit* pada bus serta satu saluran *double circuit* sistem transmisi 500

kV. Setelah melakukan simulasi kestabilan transien, maka dapat menganalisis respon respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi.

**Bab V: Penutup**

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

**1.7 Relevansi**

Hasil dari tugas akhir ini dapat dijadikan referensi pada penelitian selanjutnya dan pembuatan laporan terkait analisis kestabilan transien sistem kelistrikan 500 kV.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



## **BAB II**

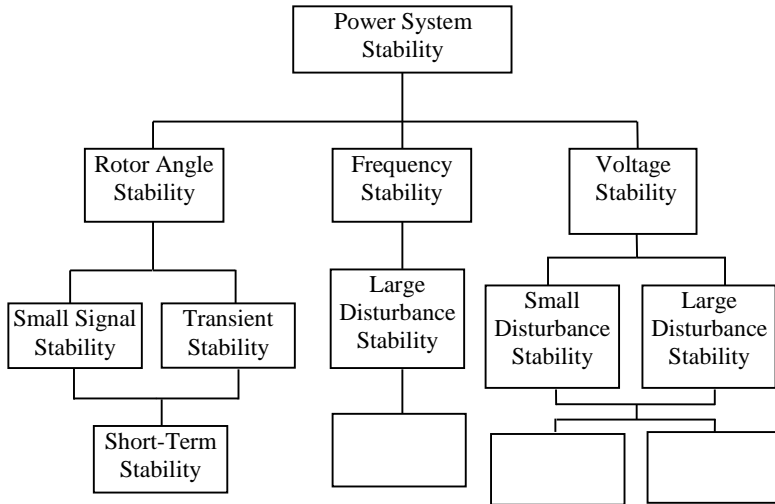
### **TEORI DASAR**

#### **2.1 Kestabilan Sistem Tenaga**

Kestabilan sistem tenaga adalah kemampuan mempertahankan keseimbangan atau sinkronisasi sistem saat atau setelah mengalami gangguan. Kestabilan juga dapat didefinisikan sebagai kecenderungan sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi pada sistem dengan melihat posisi sudut rotor antara satu generator dengan generator lain dalam keadaan konstan saat terjadi gangguan secara periodik [10]. Ketidakstabilan suatu sistem tenaga ditunjukkan dengan berbagai keadaan, salah satunya apabila suatu sistem kelistrikan mengalami perubahan konfigurasi maka akan timbul ketidakstabilan yang dapat menyebabkan generator kehilangan sinkronisasi dengan sistem. Terdapat dua studi kestabilan yang dapat mengevaluasi dampak gangguan pada suatu sistem yaitu kestabilan *steady-state* dan kestabilan transien. Kestabilan *steady-state* merupakan suatu perubahan kecil secara bertahap dalam kondisi operasi sistem. Kestabilan *steady state* dilakukan dengan menggunakan aliran daya (*power flow*) untuk memastikan bahwa sudut fasa saluran transmisi tidak terlalu besar, tegangan bus mendekati nominal, dan generator, saluran transmisi, trafo, dan peralatan lain tidak kelebihan beban. Sedangkan, kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi setelah mengalami gangguan besar. Gangguan besar yang dimaksud adalah gangguan *generator outage*, *line-switching operations*, *short circuit* dan perubahan beban secara tiba-tiba [11].

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 bahwa gangguan dalam sistem tenaga listrik yang mempengaruhi kestabilan sistem ada dua yaitu:

1. Gangguan kecil (*small disturbance* atau *small signal*)  
Gangguan kecil yang terjadi merupakan perubahan kapasitas beban yang terjadi secara terus menerus dan sistem menyesuaikan terhadap perubahan beban yang terjadi.
2. Gangguan besar (*transient disturbance*)  
Gangguan transien merupakan gangguan yang bersifat mendadak. Gangguan transien ini harus segera dihilangkan jika tidak dihilangkan maka dapat mengakibatkan ketidakstabilan pada sistem.  
Klasifikasi kestabilan dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



**Gambar 2.1** Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga [12]

### 2.1.2 Kestabilan Sudut Rotor (*Rotor Angle Stability*) [12]

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dua generator atau lebih yang saling terhubung pada sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Ketidakstabilan pada sudut rotor dapat terjadi akibat perubahan ayunan sudut dari beberapa generator yang menyebabkan hilangnya sinkronisasi pada generator. Kestabilan sudut rotor terbagi menjadi dua yaitu:

1. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil (*small signal stability*)  
Gangguan kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil berkaitan dengan kemampuan sistem untuk mempertahankan sinkronisasi dibawah gangguan kecil. Gangguan kecil ini sering terjadi dalam kondisi normal seperti perubahan beban yang kecil. Gangguan yang dapat terjadi dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem diantaranya perubahan sudut rotor akibat kurangnya torsi sinkronisasi dan terjadi perubahan osilasi sudut rotor akibat kurangnya torsi redaman rotor.
2. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar (*transient stability*)  
Kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan sinkronisasi saat mengalami gangguan yang besar atau transien. Gangguan besar

yang dimaksud adalah hubung singkat (*short circuit*), generator *outage*, dan *motor starting*.

### 2.1.3 Kestabilan Tegangan (*Voltage Stability*) [13]

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan pada bus agar tetap stabil. Ketidakstabilan tegangan terjadi akibat adanya drop tegangan yang tidak terkendali pada sistem tenaga dan dikarenakan kebutuhan beban yang terus meningkat. Kestabilan tegangan terbagi menjadi dua yaitu:

1. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil merupakan kemampuan sistem untuk mengendalikan tegangan seiring dengan penambahan beban. Kriteria dari kestabilan tegangan akibat gangguan kecil bahwa saat kondisi operasi, tegangan setiap bus meningkat akibat dari daya reaktif yang meningkat.
2. Kestabilan tegangan akibat gangguan besar merupakan kemampuan suatu sistem untuk mengendalikan tegangan akibat dari hilangnya sinkronisasi generator dan kesalahan dari sistem itu sendiri.

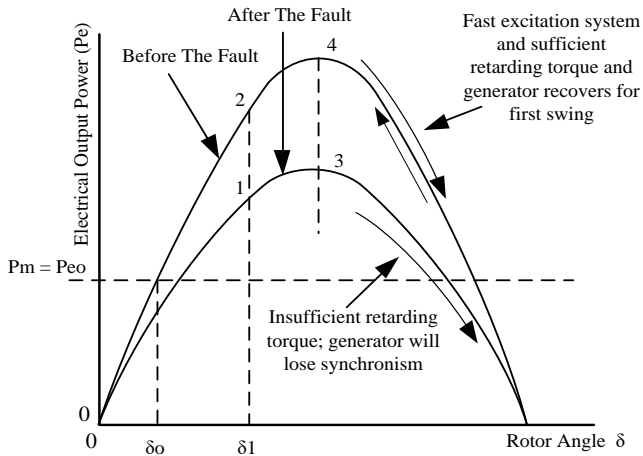
### 2.1.4 Kestabilan Frekuensi (*Frequency Stability*) [12]

Kestabilan frekuensi adalah kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi antara daya suplai dengan daya beban tetap seimbang. Gangguan sistem yang besar atau gangguan transien dapat menyebabkan perubahan besar pada frekuensi akibat dari kapasitas pembangkit yang tidak dapat menanggung kebutuhan beban, respon peralatan yang kurang baik terhadap sistem, dan koordinasi proteksi pada suatu peralatan yang kurang memadai. Titik keseimbangan (*equilibrium point*) antara suplai daya dan beban harus dipertahankan untuk menjaga sistem dari *generator outage*.

## 2.2 Kestabilan Transien

Kestabilan transien merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkronisasi saat mengalami gangguan transien. Gangguan transien yang dimaksud seperti *generator outage*, gangguan pada saluran transmisi, *short circuit*, dan perubahan beban secara tiba-tiba. Kestabilan transien pada generator untuk ayunan pertama (*first swing*) dapat menyebabkan perubahan pada sudut rotor. Apabila torsi mekanik rotor lebih tinggi dari torsi elektriknya maka sudut rotor akan meningkat, sehingga menyebabkan percepatan. Sebaliknya apabila torsi mekanik rotor lebih rendah dari torsi elektriknya maka sudut rotor

berubah menjadi lebih rendah, sehingga menyebabkan perlambatan. Pada kestabilan transien terdapat tiga fase yang berbeda yaitu keadaan sebelum gangguan (*predisturbance*), keadaan saat gangguan (*disturbance*), dan keadaan setelah gangguan (*postdisturbance*). Selama gangguan terjadi, sistem mengalami transisi dari keadaan setimbang ke keadaan yang lain merupakan proses operasi normal.



**Gambar 2.2** Kurva Sudut Daya untuk Kestabilan Transien [14]

Pada Gambar 2.2, titik 1 merupakan titik kerja awal atau sebelum terjadi gangguan. Dengan terjadinya gangguan menyebabkan daya output generator turun. Selisih antara daya output listrik dengan daya input mekanik turbin mengakibatkan rotor pada generator mengalami percepatan, sehingga sudut rotor atau daya bertambah besar yaitu pada titik 2. Pada saat gangguan hilang, daya output generator pulih pada harga yang sesuai dengan kurva sudut daya ( $P - \delta$ ) diatas yaitu pada titik 3. Setelah gangguan hilang, daya output generator menjadi lebih besar daripada daya mekanis turbin. Hal ini mengakibatkan perlambatan pada rotor generator pada titik 4.

Bila terdapat torsi lawan yang cukup setelah gangguan hilang untuk mengimbangi percepatan yang terjadi selama terjadinya gangguan, generator akan stabil setelah ayunan pertama dan akan kembali ke titik kerjanya dalam waktu kira-kira 0,5 detik. Bila torsi lawan tersebut tidak

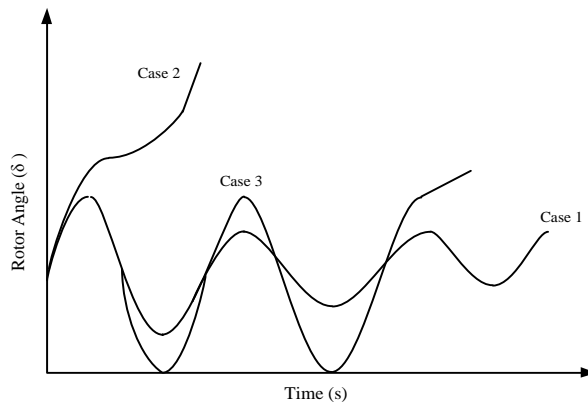
cukup besar maka sudut rotor atau daya terus bertambah besar sampai sinkronisasi dengan sistem menjadi hilang [14].

Ketidakstabilan transien diperoleh dari pemeriksaan antara sudut rotor generator ( $\delta$ ) terhadap waktu. Kestabilan transien memiliki tiga karakteristik kasus yang dapat terjadi [15]:

1. Kasus stabil menunjukkan bahwa sudut rotor mencapai nilai *stead-state* setelah mengalami beberapa osilasi.
2. Kasus yang tidak stabil menunjukkan ketidakstabilan ayunan pertama (*first-swing*) yang ditandai dengan meningkatnya sudut rotor secara terus menerus terhadap waktu.
3. Kasus generator stabil pada saat ayunan pertama tetapi saat osilasi meningkat dalam jumlah besar mengakibatkan ketidakstabilan. Ketidakstabilan ini terjadi karena sistem tidak memenuhi kondisi *small-signal stability*.

Klasifikasi lain dari kestabilan transien ada dua yaitu transien elektromagnetik (electromagnetic transient) dihasilkan dari hubungan antar medan listrik dari kapasitansi dan medan magnet induktansi dalam sistem tenaga listrik. Transien elektromagnetik muncul sebagai gelombang berjalan pada jalur transmisi, bus, dan osilasi antara induktansi dan kapasitansi. Transien elektromekanik (electromechanical transient) yaitu hubungan antara energi listrik yang tersimpan pada sistem dan energi mekanik pada generator dan motor [7].

Respon sudut rotor akibat gangguan transien dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



**Gambar 2.3** Respon Sudut Rotor Akibat Gangguan Transien [15]

### 2.3 Persamaan Ayunan (*Swing Equation*) [16]

Pada mesin sinkron, penggerak utama (*Prime Mover*) memberikan torsi mekanik ( $T_m$ ) pada poros mesin dan mesin menghasilkan torsi elektromagnetik ( $T_e$ ). Jika terjadi gangguan maka  $T_m$  lebih besar dari  $T_e$ . Sehingga torsi akselerasi menjadi:

$$T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

Pada dasarnya persamaan dari pengaturan gerakan suatu mesin sinkron merupakan prinsip dasar dinamika yang menyatakan bahwa torsi percepatan (*Accelerating Torque*) merupakan hasil perkalian dari percepatan sudut dan momen kelembaman (*Moment Inertia*) rotor.  $T_a$  merupakan efek dari percepatan mesin sinkron yang memiliki momen inersia  $J$  ( $\text{kg.m}^2$ ) yang terdiri dari inersia generator dan penggerak utama (*Prime Mover*). Pada generator sinkron, persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$J \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = T_a = T_m - T_e \quad (2.2)$$

Keterangan symbol-simbol persamaan 2.2 adalah sebagai berikut:

- $t$  : Waktu (s)
- $\theta_m$  : Posisi sudut rotor terhadap sumbu diam (*stationary*) (rad)
- $J$  : Momen inersia ( $\text{kg.m}^2$ )
- $T_a$  : Torsi akselerasi atau momen putar percepatan (Nm)
- $T_m$  : Torsi mekanik (Nm)
- $T_e$  : Torsi elektromagnetik (Nm)

Pada persamaan 2.2,  $\theta_m$  merupakan posisi sudut rotor terhadap sumbu yang diam, maka untuk mengukur posisi sudut rotor terhadap sumbu yang berputar dalam kecepatan sinkron adalah sebagai berikut:

$$\theta_m = \omega_m t - \delta_m \quad (2.3)$$

Keterangan:

- $\delta_m$  : Sudut rotor
- $\omega_m$  : Kecepatan sudut rotor (rad/s)

Perubahan persamaan 2.3 terhadap waktu memberikan persamaan kecepatan putaran rotor sebagai berikut:

$$\omega_m = \frac{d\theta_m}{dt} = \omega_{sm} + \frac{d\delta_m}{dt} \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.2 dan 2.4 maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 dikalikan dengan  $\omega_m$  maka menjadi persamaan sebagai berikut:

$$J\omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e \quad (2.6)$$

Keterangan:

$P_m$  : Daya mekanik (MW)

$P_e$  : Daya elektromagnetik (MW)

$J\omega_m$  : Momentum sudut rotor, pada kecepatan sinkron dinotasikan menjadi M.

Konstanta J didefinisikan menjadi konstanta H yang merupakan pembagian dari energy kinetik dalam satuan *MegaJoule* (MJ) saat kecepatan sinkron dengan rating mesin (MVA) yang ditulis menjadi persamaan sebagai berikut:

$$H = \frac{W_k}{S_{rated}} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 disubstitusikan dengan persamaan 2.6 menjadi persamaan sebagai berikut:

$$2H \frac{S_{rated}}{\omega_s^2} \omega_m \frac{d^2\delta_m}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \quad (2.8)$$

Pada saat keadaan *steady-state*, kecepatan sudut rotor sama dengan kecepatan sinkron maka  $\omega_m$  dapat diganti dengan  $\omega_s$ . Persamaan yang menggambarkan dinamika rotor (*swing equation*) adalah sebagai berikut:

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e = P_a \text{ (Satuan Per Unit)} \quad (2.9)$$

## 2.4 TDS (Time Domain Simulation) [17]

TDS (*time domain simulation*) telah diakui bahwa metode ini menggambarkan keadaan transien. TDS banyak digunakan karena merupakan metode yang akurat dan handal.

Pada *software* DigSILENT, terdapat RMS/EMT *simulation* yang merupakan pengaturan untuk melakukan analisis kestabilan transien. RMS *simulation* merupakan *time domain simulation* untuk analisis kestabilan dan EMT *simulation* merupakan *time domain simulation* untuk transien elektromagnetik. Transien dalam sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menurut tiga waktu yaitu *short-term* atau transien elektromagnetik, *mid-term* atau transien elektromekanik, dan *long-term* atau transien. Fungsi simulasi RMS dan EMT berbeda-beda yaitu:

1. RMS (*symmetrical steady-state*) adalah fungsi transien jangka menengah (*mid-term*) dan jangka panjang (*long-term*) dalam kondisi seimbang.
2. RMS (*three phase steady state*) adalah fungsi transien jangka menengah (*mid-term*) dan jangka panjang (*long-term*) dalam kondisi

seimbang dan tidak seimbang. Contohnya gangguan yang tidak simetris.

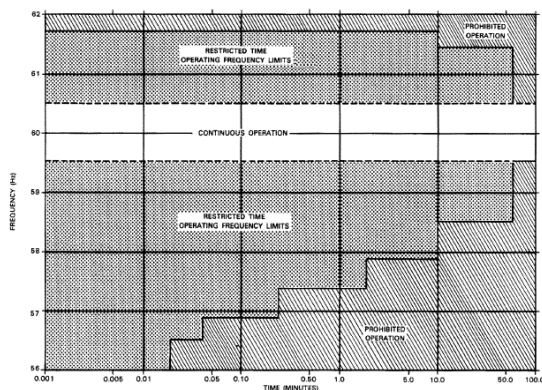
3. EMT (*electromagnetic transient*) digunakan untuk transien elektromagnetik pada kondisi seimbang dan tidak seimbang. Simulasi ini cocok digunakan untuk transien jangka pendek (*mid-term*).

## 2.5 Standar yang Digunakan untuk Analisis Kestabilan Transien

### 2.5.1 Standar Frekuensi [18]

Berdasarkan IEEE Std C37.106-2003 merupakan standar yang digunakan untuk frekuensi abnormal dari pembangkit dimana standar ini digunakan untuk sistem dengan frekuensi 60 Hz. Sedangkan, untuk frekuensi 50 Hz harus dikonversikan terlebih dahulu. Daerah antara 59,5 Hz dan 60,5 Hz adalah batas daerah operasi yang diperbolehkan. Jika dikonversikan pada standar sistem frekuensi yang digunakan di Indonesia yaitu 50 Hz maka 50,5 Hz dan 49,5 Hz adalah batas daerah aman atau yang diperbolehkan. Pada Gambar 2.4, batas operasi frekuensi yang diizinkan ada tiga daerah operasi adalah sebagai berikut:

1. *Restricted time operating frequency limits* yaitu daerah frekuensi yang diizinkan beroperasi dalam rentang waktu sementara tergantung pada besar frekuensinya. Semakin besar perubahan frekuensi semakin pendek rentang waktu yang diizinkan.
2. *Prohibited operation* yaitu daerah frekuensi terlarang, sehingga tidak diizinkan sistem beroperasi pada frekuensi tersebut.
3. *Continuous operation* yaitu daerah frekuensi normal.



**Gambar 2.4** Standar Frekuensi Abnormal *Steam Turbine Generator*



### 2.5.2 Standar Tegangan [19]

Standar yang digunakan berdasarkan *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality* (IEEE Std 1159-1995) yang menyatakan bahwa batas nilai kedip tegangan yang diperbolehkan yaitu 10 % untuk *momentary* selama 3 detik sedangkan untuk *temporary* selama 60 detik.

Pengertian *undervoltage* adalah perubahan nilai efektif dari tegangan yang nilainya kurang dari 90% dari tegangan nominal dengan durasi kurang lebih 1 menit. Penyebab sistem mengalami *undervoltage* disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada sistem baik gangguan kecil maupun gangguan besar dan dapat juga disebabkan oleh pembebanan yang terlalu besar pada sistem. Standar yang digunakan untuk tegangan nominal dalam kondisi normal adalah berdasarkan standar PLN yaitu:

- Rating tegangan 500 kV : +5% , -5%
- Rating tegangan 150 kV : +5% , -10%
- Rating tegangan 70 kV : +5% , -10%
- Rating tegangan 20 kV : +5% , -10%

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB III**

### **SISTEM KELISTRIKAN KALIMANTAN**

#### **3.1 Sistem Transmisi Kalimantan**

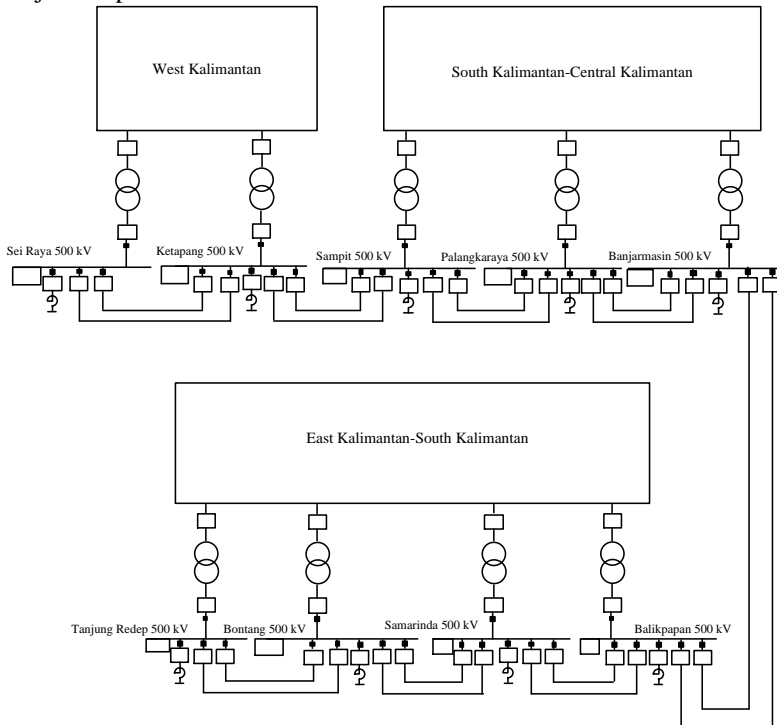
Saat ini, sistem transmisi Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan utara terdiri atas satu sistem interkoneksi yang terpisah yaitu 150 kV. Pada provinsi Kalimantan Barat menggunakan satu sistem interkoneksi 150 kV (sistem Khatulistiwa) dan sistem *isolated*. Sistem interkoneksi Kalimantan Barat meliputi Pontianak, Singkawang, Sambas, Bengkayang, dan Ngabang. Sistem *isolated* meliputi Sanggau, Sekadau, Sintang, Nanga Pinoh, Putussibau, dan Ketapang. Suplai tenaga listrik terbesar Kalimantan Barat berasal dari Serawak sebesar 230 MW. Sedangkan, untuk mengantisipasi kekurangan daya jangka pendek maka dibangun MPP (*Mobile Power Plant*) sebesar 100 MW di Pontianak. Pada provinsi Kalimantan Selatan memiliki sistem interkoneksi bernama sistem Barito. Sistem Barito membentang dari Batu Licin hingga Sampit (Kalimantan Tengah). Sedangkan, sistem *isolated* meliputi Kota Baru dan beberapa PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Sistem Barito merupakan sistem interkoneksi 150 kV dan 70 kV yang dipasang dari beberapa jenis pembangkit yaitu PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTG (Pembangkit Listrik tenaga Gas), dan PLTD. Pada provinsi Kalimantan Tengah, sistem tenaga listrik dipasang dari sistem Barito melalui Selat, Pulang Pisau, Plangkaraya, Kasongan, dan Sampit. Pada Provinsi Kalimantan Timur terdiri dari sistem interkoneksi 150 kV yaitu sistem Mahakam dan sistem *isolated* 20 kV. Sistem Mahakam meliputi Balikpapan, Samarinda, Tenggarong, dan Bontang. Sistem tenaga listrik di Kalimantan Utara masih menggunakan sistem *isolated* yang tersebar di setiap Kota dan pasokannya berasal dari PLTD 20 kV.

#### **3.2 Sistem Kelistrikan Kalimantan Backbone 500 kV**

Sistem kelistrikan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sistem transmisi *backbone* 500 kV Kalimantan terbagi menjadi tiga area yaitu area 1 (Provinsi Kalimantan Barat), area 2 (Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah), dan area 3 (Provinsi Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara. Ketiga area tersebut harus mampu memenuhi kebutuhannya sendiri. Sistem transmisi *backbone* 500 kV menggunakan jalur alternatif yaitu jalur selatan. Jalur selatan melewati kota Pontianak

(Kalimantan Barat), Ketapang (Kalimantan Barat), Sampit (Kalimantan Tengah), Palangkaraya (Kalimantan Tengah), Banjarmasin (Kalimantan Selatan), Balikpapan (Kalimantan Timur), Samarinda (Kalimantan Timur), Bontang (Kalimantan Timur), dan Tanjung Redep (Kalimantan Utara).

Sistem transmisi *backbone* 500 kV yang digunakan untuk analisis kestabilan transien digambarkan dalam bentuk *single line diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dibawah ini.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram Backbone 500 kV Kalimantan*

### 3.3 Data Beban Kalimantan Tahun 2023-2050

Data kapasitas beban pada *backbone* 500 kV Kalimantan yang meliputi interkoneksi tiga area yaitu area 1 (Kalimantan Barat), area 2 (Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah), dan area 3 (Kalimantan

Timur dan Kalimantan Utara) pada tahun 2023, 2026, 2029, 2032, 2035, 2040, 2045, dan 2050 adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Data Kapasitas Beban Kalimantan Barat Tahun 2023

Provinsi	Nama GI	Kapasitas Beban (MW)
Kalimantan Barat	Air Upas	25
Kalimantan Barat	Bengkayang	11,69
Kalimantan Barat	Cemara	41,5
Kalimantan Barat	Entikong	7,4
Kalimantan Barat	Kendawangan	5,3
Kalimantan Barat	Ketapang	16,02
Kalimantan Barat	Kota Baru	47,68
Kalimantan Barat	Kota Baru 2	6,68
Kalimantan Barat	Nanga Pinoh	13,58
Kalimantan Barat	Ngabang	11,42
Kalimantan Barat	Parit Baru	34,5
Kalimantan Barat	Putussibau	12,75
Kalimantan Barat	Rassau	25
Kalimantan Barat	Sambas	33,7
Kalimantan Barat	Sandai	5,39
Kalimantan Barat	Sanggau	29,84
Kalimantan Barat	Sei Raya	135,67
Kalimantan Barat	Sekadau	13,07
Kalimantan Barat	Senggiring	31,78
Kalimantan Barat	Siantan	69
Kalimantan Barat	Singkawang	58,66
Kalimantan Barat	Sintang	22,14
Kalimantan Barat	Sukadana	13,47
Kalimantan Barat	Tayan	18,69
Total		689,93

**Tabel 3.2** Data Kapasitas Beban Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah Tahun 2023

Provinsi	Nama GI	Kapasitas Beban (MW)
Kalimantan Tengah	Buntok	16,31
Kalimantan Tengah	Tamiang	0
Kalimantan Tengah	Muara Teweh	14,57
Kalimantan Tengah	Kuala Kurun	5,35
Kalimantan Tengah	Kasongan	24,02
Kalimantan Tengah	Pangkalan Bun	45,41
Kalimantan Tengah	Sampit	44,78
Kalimantan Tengah	Nanga Bulik	6,44
Kalimantan Tengah	Puruk Cahu	7,15
Kalimantan Tengah	PULPIS	13,03
Kalimantan Tengah	Sukamara	4,57
Kalimantan Tengah	Kuala Pambuang	0
Kalimantan Tengah	Palangkaraya	43,26
Kalimantan Tengah	New Palangkaraya	38,27
Kalimantan Tengah	Selat	34,07
Kalimantan Tengah	Pangkalan Banteng	8,17
Kalimntan Selatan	Amuntai	35,91
Kalimntan Selatan	Aranio	3,85
Kalimntan Selatan	Asam	17,52
Kalimntan Selatan	Bandara	31,78
Kalimntan Selatan	Barikin	37,81
Kalimntan Selatan	Bati	24,78
Kalimantan Selatan	Batu Licin	43,06
Kalimantan Selatan	Cempaka 70	4,96
Kalimantan Selatan	Cempaka 150	93,33
Kalimantan Selatan	GIS Ulin	78,45
Kalimantan Selatan	Kandangan	15,87
Kalimantan Selatan	Kayu Tangi	18,82
Kalimantan Selatan	Kota Baru	20,28
Kalimantan Selatan	Mantuil	46,38
Kalimantan Selatan	Marabahan	9,86
Kalimantan Selatan	Paranggean	7,98
Kalimantan Selatan	Paringin	19,05

**Tabel 3.2** Data Kapasitas Beban Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah Tahun 2023 (Lanjutan)

Provinsi	Nama GI	Kapasitas Beban (MW)
Kalimantan Selatan	Pelai Hari	32,04
Kalimantan Selatan	Rantau	40,28
Kalimantan Selatan	Satui	20,76
Kalimantan Selatan	Sebar	14,97
Kalimantan Selatan	Sei Tabuk	20,02
Kalimantan Selatan	Tanjung	38,22
Kalimantan Selatan	Trisakti 150	93,76
Kalimantan Selatan	Trisakti 70	10,06
Kalimantan Selatan	Ulin	0
Total		1085,2

**Tabel 3.3** Data Kapasitas Beban Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara 500 kV Tahun 2023

Provinsi	Nama GI	Kapasitas Beban (MW)
Kalimantan Timur	General Load	25
Kalimantan Timur	Bontang	31,8
Kalimantan Timur	Bontang Koala	13,4
Kalimantan Timur	Bukit Biru	42,7
Kalimantan Timur	Bukuan	24,8
Kalimantan Timur	Embalut	32,2
Kalimantan Timur	GIS Balikpapan	27,8
Kalimantan Timur	GIS Samarinda	28,1
Kalimantan Timur	Haru	39,4
Kalimantan Timur	Juata	0
Kalimantan Timur	Karjo	48,1
Kalimantan Timur	Kembang Janggut	2
Kalimantan Timur	Komam	4,5
Kalimantan Timur	Kota Bangun	6,7
Kalimantan Timur	Kuaro	7,4
Kalimantan Timur	Maloi	3,5
Kalimantan Timur	Manggar	67,8
Kalimantan Timur	Melak	18
Kalimantan Timur	Muara Bengkal	2,2

**Tabel 3.3** Data Kapasitas Beban Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara 500 kV Tahun 2023 (Lanjutan)

Provinsi	Nama GI	Kapasitas Beban (MW)
Kalimantan Timur	Muara Wahau	4,6
Kalimantan Timur	New Balikpapan	45,1
Kalimantan Timur	New Samarinda	37,8
Kalimantan Timur	Petung	26,4
Kalimantan Timur	Sambera	19
Kalimantan Timur	Samboja	8,3
Kalimantan Timur	Sambutan	36,2
Kalimantan Timur	Sanga2	3,9
Kalimantan Timur	Sanggata	28,2
Kalimantan Timur	Sei Durian	0
Kalimantan Timur	Senipah	13,5
Kalimantan Timur	Sepaku	2,6
Kalimantan Timur	Sepaso	3,14
Kalimantan Timur	Tanah Grogot	31,3
Kalimantan Timur	Tanjung Batu	1
Kalimantan Timur	Tarakan	0
Kalimantan Timur	Teluk Balikpapan	15,2
Kalimantan Timur	Tengkawang	100,4
Kalimantan Utara	Ujoh Bilang	0
Kalimantan Utara	Lati	5,84
Kalimantan Utara	Malinau	15,46
Kalimantan Utara	Nunukan	0
Kalimantan Utara	Sebuku	1,05
Kalimantan Utara	Sekatak	3,59
Kalimantan Utara	Talisayan	2,6
Kalimantan Utara	Tanjung Redep	41,17
Kalimantan Utara	Tanjung Selor	19,74
Kalimantan Utara	Tidang Pale	3,04
Total		894,53



**Tabel 3.4** Data Penambahan Kapasitas Beban Kalimantan 500 kV Tahun 2026-2050

Tahun	Penambahan Kapasitas Beban (MW)		
	Kalimantan Barat	Kalimantan Selatan-Kalimantan Tengah	Kalimantan Timur-Kalimantan Utara
2026	880,52	1367,74	1135,94
2029	1084,06	1672,74	1395,64
2032	1432,7011	2051,22	1698,2596
2035	1669,811	2478,21	2048,1499
2040	2112,0743	3335,09	2761,4829
2045	2638,1076	4423,31	3682,4621
2050	3270,4364	5871,10	4815,3515

### 3.4 Data Kapasitas Pembangkit Tahun 2023

Data kapasitas pembangkit Kalimantan meliputi Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara pada tahun 2023 adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.5** Data Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2023

Provinsi	Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Barat	Kalbar-Peaker1	25
Kalimantan Barat	Kalbar-Peaker1(1)	25
Kalimantan Barat	Kalbar-Peaker1(2)	25
Kalimantan Barat	Kalbar-Peaker1(3)	25
Kalimantan Barat	MPP Kalbar	25
Kalimantan Barat	MPP Kalbar(1)	25
Kalimantan Barat	MPP Kalbar(2)	25
Kalimantan Barat	MPP Kalbar(3)	25
Kalimantan Barat	PLTU Kalbar1-1	100
Kalimantan Barat	PLTU Kalbar1-2	100
Kalimantan Barat	PLTU Kalbar2	100
Kalimantan Barat	PLTU Kalbar3-1	100
Kalimantan Barat	PLTU PKura1	25
Kalimantan Barat	PLTU PKura2	25
Kalimantan Barat	PLTU ParitBaru	50
Kalimantan Barat	PLTU ParitBaru(1)	50

**Tabel 3.5** Data Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2023  
(Lanjutan 1)

Provinsi	Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Barat	PLTU ParitBaru2	50
Kalimantan Barat	PLTU ParitBaru2(1)	50
Kalimantan Barat	Serawak	100
Kalimantan Barat	Serawak(1)	100
Kalimantan Barat	Serawak(2)	100
Kalimantan Tengah	Bangkanai	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(1)	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(2)	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(3)	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(4)	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(5)	25
Kalimantan Tengah	Bangkanai(6)	25
Kalimantan Tengah	PLTU Sampit	25
Kalimantan Tengah	PLTU Sampit(1)	25
Kalimantan Tengah	PULPIS1	65
Kalimantan Tengah	PULPIS1(1)	65
Kalimantan Tengah	Kalselteng 1	100
Kalimantan Tengah	Kalselteng 1(1)	100
Kalimantan Selatan	Kalselteng 2	100
Kalimantan Selatan	Kalselteng 2(1)	100
Kalimantan Selatan	Kalselteng 4 MT	100
Kalimantan Selatan	Kalselteng 4 MT(1)	100
Kalimantan Selatan	PLTA Kusan	100
Kalimantan Selatan	PLTA Riam Kanan	100
Kalimantan Selatan	PLTU Kalsel FTP 2	100
Kalimantan Selatan	PLTU Kalsel FTP 2(1)	100
Kalimantan Selatan	GI Asam	65
Kalimantan Selatan	GI Asam(1)	65
Kalimantan Selatan	GI Asam(2)	65
Kalimantan Selatan	GI Asam(3)	65
Kalimantan Timur	Cogindo	11
Kalimantan Timur	Cogindo(1)	11
Kalimantan Timur	Embalut	25

**Tabel 3.5** Data Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2023  
(Lanjutan 2)

Provinsi	Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Timur	Embalut Ekspansi	50
Kalimantan Timur	Embalut(1)	25
Kalimantan Timur	Kaltim 4	100
Kalimantan Timur	Kaltim 4(1)	100
Kalimantan Timur	Kaltim 5 MT	25
Kalimantan Timur	Kaltim 5 MT(1)	25
Kalimantan Timur	Kaltim Peaker	60
Kalimantan Timur	Kaltim Peaker(1)	60
Kalimantan Timur	Kaltim Peaking	60
Kalimantan Timur	Kaltim Peaking(1)	60
Kalimantan Timur	MPP Kaltim	10
Kalimantan Timur	MPP Kaltim(1)	10
Kalimantan Timur	PLTG Sambera	20
Kalimantan Timur	PLTG Sambera(1)	20
Kalimantan Timur	PLTU Kaltim FTP	100
Kalimantan Timur	PLTU Kaltim FTP(1)	100
Kalimantan Timur	PLTU Kaltim MT	100
Kalimantan Timur	PLTU Kaltim MT(1)	100
Kalimantan Timur	PLTU Sinar Mas	200
Kalimantan Timur	PLTU Sinar Mas(1)	200
Kalimantan Timur	Senipah	60
Kalimantan Timur	Senipah Steam	40
Kalimantan Timur	Senipah(1)	60
Kalimantan Timur	Teluk Balikpapan	100

**Tabel 3.6** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2026

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Timur	PLTA Tabang	100
Kalimantan Timur	PLTA Tabang(1)	100
Kalimantan Timur	PLTA Tabang(2)	100
Kalimantan Timur	PLTA Tabang(3)	100

**Tabel 3.6** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2026 (Lanjutan)

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalmantan Barat	PLTU Kalbar 4-1	100
Kalmantan Barat	PLTU Kalbar2(1)	100
Kalmantan Barat	PLTU Kalbar3-2	100
Kalmantan Barat	PLTU Kalbar4-2	100
Kalimantan Selatan	PLTU Kalsel 1	200

**Tabel 3.7** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2029

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Utara	PLTA Kaltara	100
Kalimantan Utara	PLTA Kaltara(1)	100
Kalimantan Utara	PLTA Kaltara(2)	100
Kalimantan Utara	PLTA Kaltara(3)	100
Kalimantan Barat	PLTG Siantan	100

**Tabel 3.8** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2032

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Selatan	Kalselteng Cempaka 400	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng Cempaka 400(1)	400
Kalimanatan Barat	LNG Kalbar Parit Baru	100
Kalimanatan Barat	LNG Kalbar Sanggau	100
Kalimanatan Barat	LNG Kalbar SeiRaya1	100
Kalimanatan Barat	LNG Kalbar SeiRaya2	100
Kalimantan Timur	PLTA Kelay	50

**Tabel 3.9** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2035

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Timur	Kaltimra Haru 400	400
Kalimantan Timur	Kaltimra New Balikpapan 400 MW	400
Kalimantan Tengah	Kaltimra Palangkaraya 400	400
Kalimantan Barat	LNG Kalbar AirUpas	100

**Tabel 3.9** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2035 (Lanjutan)

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Barat	LNG Kalbar Sintang	100

**Tabel 3.10** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2040

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Selatan	Kalselteng Bandara 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng Batu Licin 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng GIS Ulin 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng Trisakti 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Manggar 400 MW	400
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Industri	100

**Tabel 3.11** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2045

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Barat	Kalbar Singkawang 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kalselteng Kota Bangun 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng Mantuil 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng Rantau 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Karjo 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Manggar 400 MW	400
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng NewPalangkaraya	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Pangkalan Bun	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Bontang	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Embalut	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra GIS Samarinda	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Kuaro	100

**Tabel 3.12** Data Penambahan Kapasitas Pembangkit Kalimantan Tahun 2050

Provinsi	Nama Pembangkit	Rating Daya (MW)
Kalimantan Barat	Kalbar Siantan 200 MW	200
Kalimantan Selatan	Kalselteng KayuTangi 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng PelaiHari 400 MW	400
Kalimantan Selatan	Kalselteng tanjung 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Lati 400 MW	400
Kalimantan Tengah	Kalselteng Palangkaraya 400	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Sambutan 400 MW	400
Kalimantan Timur	Kaltimra Tanjung Batu 400 MW	400
Kalimantan Barat	LNG Kalbar Tayan	100
Kalimantan Selatan	LNG Kalselteng Amuntai	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Buntok	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Buntok(1)	100
Kalimantan Selatan	LNG Kalselteng Cempaka	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Kuala Kurun	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Kuala Kurun(1)	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Selat	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Bukuan	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Haru	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Sanggata	100
Kalimantan Selatan	LNG Kalselteng barikin	100
Kalimantan Tengah	PLTG Kalteng	60
Kalimantan Tengah	PLTG Kalteng(1)	60
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Buntok(1)	100
Kalimantan Selatan	LNG Kalselteng Cempaka	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Kuala Kurun	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Kuala Kurun(1)	100
Kalimantan Tengah	LNG Kalselteng Selat	100
Kalimantan Timur	LNG Kaltimra Bukuan	100

### 3.5 Data Saluran Sistem Interkoneksi *Backbone* 500 kV Kalimantan

Data saluran *backbone* 500 kV Kalimantan dan data saluran dari masing-masing provinsi diperlukan sebagai penunjang dari proses simulasi dan analisis yang dilakukan. Berikut merupakan data impedansi saluran pada *backbone* 500 kV Kalimantan:

**Tabel 3.13** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Barat

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Sambas	Singawang	275,2	0,1183	0,40694	2,82366
Senggiring	Singawang	353,2	0,1183	0,40694	2,82366
Singawang	Bengkayang	294,2 6	0,1183	0,40694	2,82366
Bengkayang	Ngabang	180	0,06	0,29614	3,86570 4
Parit Baru	Senggiring	168,7	0,1183	0,40694	2,82366
Ngabang	Tayan	110	0,06	0,29614	3,86570 4
Siantan	Parit Baru	20,04	0,1183	0,40694	2,82366
Tayan	Siantan	184	0,1183	0,40694	2,82366
Siantan	Sei Raya	72,12	0,1183	0,40694	2,82366
Siantan	Kota Baru	39,69	0,1183	0,40694	2,82366
Tayan	Sanggau	180	0,0647	0,28	4,057
Sandai	Tayan	300	0,0647	0,28	4,057
Sanggau	Sekadau	100	0,0647	0,28	4,057
Entikong	Sanggau	260	0,0647	0,28	4,057
Sintang	Sekadau	180	0,0647	0,28	4,057
Sintang	Putussibau	300	0,0647	0,28	4,057
Nanga Pinoh	Kota Baru 2	180	0,0647	0,28	4,057
Sukadana	Sandai	180	0,0647	0,28	4,057
Ketapang	Sukadana	200	0,0647	0,28	4,057
Cemara	Sei Raya	20	0,129	0,4049	2,833
Kota Baru	Cemara	20	0,129	0,4049	2,833
Kotabaru	Rasau	60	0,0647	0,28	4,057
Kendawangan	Ketapang	190	0,0647	0,28	4,057

**Tabel 3.13** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Barat (Lanjutan)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Singkawang	PLTU Singkawang	60	0,129	0,4049	2,833
PLTU Kalbar-3	Tayan	60	0,0199	0,2874	4,2
PLTU Kalbar-2	Kotabaru	60	0,0199	0,2874	4,2

**Tabel 3.14** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Trisakti 150	Mantuil	30,308	0,06	0,29614	3,86570 4
Trisakti 150	Ulin (GIS)	24	0,129	0,4049	2,833
Sebar	Trisakti 150	30	0,1183	0,40694	2,82366
Sei Tabuk	Mantuil	30	0,0647	0,28	4,057
Sebar	Kayutangi	34	0,1183	0,40694	2,82366
Kayutangi	Sei Tabuk	30	0,0647	0,28	4,057
Kayutangi	Barikin	240	0,06	0,29614	3,86570 4
Barikin	Amuntai	80	0,1183	0,40694	2,82366
Amuntai	Tamiang Layang	30	0,0647	0,28	4,057
Cempaka	Ulin (GIS)	64	0,0647	0,28	4,057
Bandara	Cempaka	24	0,06	0,29614	3,86570 4
Mantuil	Bandara	32	0,06	0,29614	3,86570 4
Mantuil	Asam	220	0,06	0,29614	3,86570 4
Cempaka	Barikin	106,25	0,1183	0,40694	2,82366
Barikin	Tanjung	120	0,06	0,29614	3,86570 4
Paringin	Incomer 1 phi (Barikin - Tanjung)	2	0,064	0,28	4,057
Rantau	Barikin	45,68	0,1183	0,40694	2,82366



**Tabel 3.14** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah (Lanjutan 1)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Kandangan	Incomer 1 phi (Rantau-Barikin)	2	0,0647	0,28	4,057
Cempaka	Rantau	60,57	0,1183	0,40694	2,82366
Pelai Hari	Cempaka	32,7	0,3880005	0,3880005	2,89569 7
Asam	Pelai Hari	59,1	0,3880005	0,3880005	2,89569 7
Asam	Cempaka	88,6	0,3880005	0,3880005	2,89569 7
Bati-Bati	Incomer 1 phi (Asam Asam-Cempaka)	12	0,0647	0,28	4,057
Asam	Satui	154,7	0,1183	0,40694	2,82366
Satui	Batu Licin	100	0,1183	0,40694	2,82366
Landing Point P. Laut	Kota Baru	74	0,129	0,4049	2,833
PLTU Kalsel 1(FTP 2)	Tanjung	100	0,0647	0,28	4,057
Sampit	Kasongan	200	0,06	0,29614	3,86570 4
PLTU Kalselteng 1	Incomer 2 phi (Kasongan-Kuala Kurun)	120	0,0647	0,28	4,057
Parenggean	Incomer 1 phi (Kasongan- Sampit)	30	0,129	0,4049	2,833
Tayan	Sanggau	180	0,0647	0,28	4,057
Sandai	Tayan	300	0,0647	0,28	4,057
Sanggau	Sekadau	100	0,0647	0,28	4,057
Entikong	Sanggau	260	0,0647	0,28	4,057
Sintang	Sekadau	180	0,0647	0,28	4,057

**Tabel 3.14** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah (Lanjutan 2)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Sintang	Putussibau	300	0,0647	0,28	4,057
Nanga Pinoh	Kota Baru 2	180	0,0647	0,28	4,057
Sukadana	Sandai	180	0,0647	0,28	4,057
Ketapang	Sukadana	200	0,0647	0,28	4,057
Cemara	Sei Raya	20	0,129	0,4049	2,833
Kota Baru	Cemara	20	0,129	0,4049	2,833
Kotabaru	Rasau	60	0,0647	0,28	4,057
Kendawangan	Ketapang	190	0,0647	0,28	4,057
Singkawang	PLTU Singkawang	60	0,129	0,4049	2,833
PLTU Kalbar-3	Tayan	60	0,0199	0,2874	4,2
PLTU Kalbar-2	Kotabaru	60	0,0199	0,2874	4,2
Sampit	Pangkalan Bun	344	0,0647	0,28	4,057
PLTU Sampit	Sampit	48	0,129	0,4049	2,833
Pangkalan Banteng	Incomer 1 phi (Pangkalan Bun-Sampit)	48	0,129	0,4049	2,833
PLTU Sampit	Kuala Pambuang	160	0,0647	0,28	4,057
Nanga Bulik	Incomer 1 Phi (Pangkalan Bun-Sukamara)	70	0,0647	0,28	4,057
Pangkalan Bun	Sukamara	140	0,0647	0,28	4,057
Kasongan	Palangkaraya	150	0,06	0,29614	3,865704

**Tabel 3.14** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah (Lanjutan 3)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
New Palangkaraya	Incomer 1 phi (Selat - Palangkaraya)	2	0,129	0,4049	2,833
Pembangkit Pulpis	Selat	31,5	0,1183	0,40694	2,82366
Palangkaraya	Pembangkit Pulpis	94	0,1183	0,40694	2,82366
Palangkaraya	Pulpis	85	0,1183	0,40694	2,82366
Pulpis	Selat	38,5	0,1183	0,40694	2,82366
Kasongan	Kuala Kurun	240	0,0647	0,28	4,057
Puruk Cahu	Kuala Kurun	196	0,0647	0,28	4,057
Muara Teweh	Puruk Cahu	94	0,0647	0,28	4,057
Teweh	BKNI	10	0,3880005	0,3880005	2,895697
Buntok	Muara Teweh	220	0,06	0,29614	3,865704

**Tabel 3.15** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Juata	Tarakan	28	0,0647	0,28	4,057
Sekatak	Juata	120	0,0647	0,28	4,057
Tanjung Selor	Tidang Pale	204	0,0647	0,28	4,057
Tidang Pale	Malinau	52	0,0647	0,28	4,057
Malinau	Sebuku	150	0,0647	0,28	4,057
Sebuku	Nunukan	156	0,0647	0,28	4,057
Tanjung Redep	Tanjung Selor	160	0,0647	0,28	4,057

**Tabel 3.15** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara (Lanjutan 1)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Lati	Tanjung Batu (derawan)	40	0,0647	0,28	4,057
Lati	Tanjung Redep	60	0,0647	0,28	4,057
Tanjung Redep	Talisayan	70	0,0647	0,28	4,057
Muara Wahau	Tanjung Redep	240	0,0647	0,28	4,057
Muara Bengkal	Muara Wahau	240	0,0647	0,28	4,057
Muara Wahau	Sangatta	100	0,0647	0,28	4,057
Bontang	Sangatta	95,36	0,0647	0,28	4,057
PLTU Kaltim 2 (FTP-2)	Bontang	30	0,0647	0,28	4,057
Kembang Janggut	Muara Bengkal	200	0,0647	0,28	4,057
Kembang Janggut	Kotabangun	40	0,0647	0,28	4,057
Melak	Ujoh Bilang	150	0,0647	0,28	4,057
Melak	Kotabangun	268	0,0647	0,28	4,057
Tenggarong	Kota Bangun	120	0,0647	0,28	4,057
Embalut	BB	41	0,129	0,4049	2,833
Embalut	CFK	3	0,129	0,4049	2,833
Tanah Grogot	Sei Durian	140	0,0647	0,28	4,057
New Samarinda	Embalut	32	0,0199	0,2874	4,2
GIS Samarinda	New Samarinda	30	0,129	0,4049	2,833
Samberah	New Samarinda	110	0,0199	0,2874	4,2
Bontang	Samberah	110	0,0647	0,28	4,057

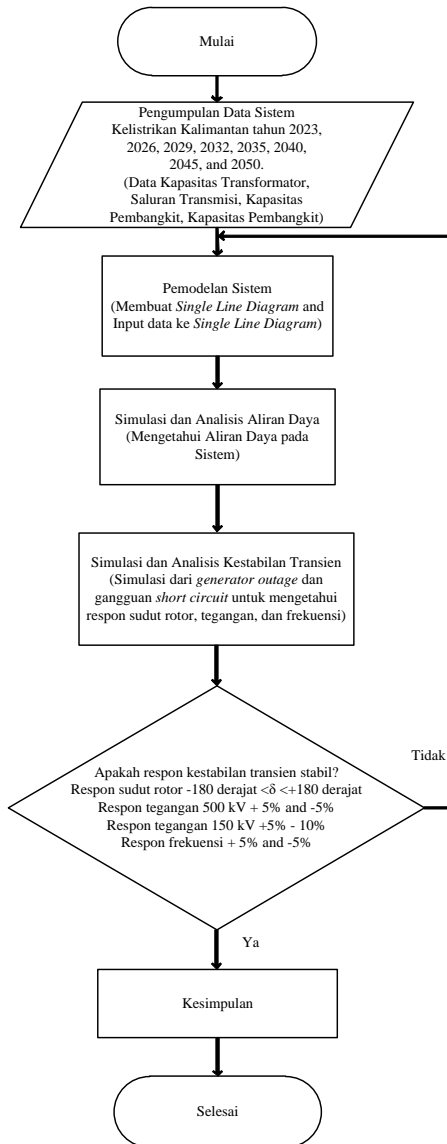
**Tabel 3.15** Data Saluran *Backbone* 500 kV Area Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara (Lanjutan 2)

Dari Bus	Ke Bus	Jarak (Kms)	R (ohm/km)	X (ohm/km)	B (uS/km)
Samberah	SBT	100	0,0647	0,28	4,057
SBT	Bukuan	14,4	0,0647	0,28	4,057
Bukuan	Haru	24	0,129	0,4049	2,833
Haru	Tengkawang	16,6	0,0647	0,28	4,057
Tengkawang	Embalut	31,6	0,0647	0,28	4,057
Karjo	Manggan	42,4	0,0647	0,28	4,057
Manggan	Senipah	186	0,0647	0,28	4,057
Manggan	New Balikpapan	26,8	0,129	0,4049	2,833
New Balikpapan	Industri	10	0,129	0,4049	2,833
Karjo	Teluk Balikpapan	22	0,0199	0,2874	4,2
Teluk Balikpapan	Petung	90,4	0,0647	0,28	4,057
Petung	Kuaro	164	0,129	0,4049	2,833
New Balikpapan	Manggarsari -Industri	2	0,129	0,4049	2,833
Kuaro	Tanah Grogot	32	0,0647	0,28	4,057
Haru	Karjo	150,8	0,0647	0,28	4,057
Sangatta	Maloi	160	0,0647	0,28	4,057
Tenggarong /Bukit Biru	Sepaku	70	0,0647	0,28	4,057
New Balikpapan	GIS Balikpapan	20	0,0647	0,28	4,057
PLTA Tabang	Kembang Janggut	140	0,0199	0,2874	4,2
PLTA Kaltara1	Malinau	80	0,0199	0,2874	4,2

### 3.6 Metodologi Simulasi

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur  
Mengumpulkan referensi buku dan *paper* mengenai PSA (*Power System Analysis*) yang dapat digunakan sebagai referensi dalam meng kestabilan transien.
2. Pengumpulan Data  
Mengumpulkan data-data sistem kelistrikan Kalimantan pada rating tegangan 150 kV dan *masterplan* 500 kV . Data-data yang dibutuhkan meliputi data beban dari tahun 2023-2050, kapasitas pembangkit, kapasitas trafo, tipe dan impedansi saluran (*line*), dan rating tegangan pada bus.
3. Pemodelan Sistem  
Memodelkan sistem kelistrikan Kalimantan dalam bentuk *single line diagram* pada tahun 2023-2050 dan memasukkan data-data yang sudah didapatkan menggunakan *software* DigSILENT *PowerFactory* 15.1 agar dapat melakukan simulasi aliran daya (*load flow*) dan analisis kestabilan transien.
4. Simulasi dan Kestabilan Transien  
Simulasi yang dilakukan setelah melakukan pemodelan berupa *single line diagram* merupakan simulasi aliran daya (*load flow*). Setelah itu melakukan analisis kestabilan transien dengan memberikan gangguan transien yaitu *short circuit*, *generator outage*, dan lepasnya salah satu saluran *double circuit* maka dapat di respon frekuensi, tegangan, dan sudut rotor.
5. Kesimpulan  
Memberikan kesimpulan dari kestabilan sistem akibat gangguan yang terjadi pada *masterplan* 500 kV sistem kelistrikan Kalimantan pada tahun 2023-2050 dan memberikan rekomendasi solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi gangguan yang terjadi sehingga sistem tetap dalam keadaan stabil.



**Gambar 3.1** *Flowchart* Metodologi Simulasi

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



## BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS DATA

### 4.1 Studi Kasus Kestabilan Transien *Masterplan* Sistem Kelistrikan Kalimantan 500 kV Tahun 2023-2050

Berdasarkan data-data yang diperoleh yaitu data kapasitas beban, data kapasitas pembangkit, dan data saluran dilakukan pemodelan dalam bentuk *single line diagram* menggunakan *software* DigSILENT Power Factory. Setelah melakukan pemodelan sistem, dilanjutkan dengan melakukan simulasi dan kestabilan transien.

Studi kasus yang diberikan pada simulasi dan kestabilan transien ada dua yaitu:

1. Pada kasus *generator outage* terjadi pelepasan geneator secara tiba-tiba dari sistem yang terinterkoneksi. Pada simulasi ini generator *outage* terdiri dari 1 *generator outage* dan 2 *generator outage* dari masing-masing area yaitu area Kalimantan Barat, area Kalimantan Selatan-Kalimantan Tengah, dan area Kalimantan Timur-Kalimantan Utara. Generator yang mengalami *trip* merupakan generator dengan kapasitas 100 MW dan 400 MW.
2. Pada kasus *short circuit* memberikan gangguan pada bus dan satu saluran *double sirkuit* sistem transmisi *masterplan* kelistrikan Kalimantan 500 kV dengan waktu gangguan 2 detik.

Semua studi kasus menggunakan *total simulation time* selama 30-120 detik. Studi kasus kestabilan transien ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini:

**Tabel 4.1** Studi Kasus Kestabilan Transien

Tahun	Kasus	Keterangan Kasus	Aksi
2023	Kasus 1	1 <i>Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalbar 2 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sei Raya-Ketapang
2026	Kasus 1	1 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kalsel 1 <i>trip</i>
	Kasus 2	2 <i>Generator Outage</i>	Generator PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) <i>trip</i>

**Tabel 4.1** Studi Kasus Kestabilan Transien (Lanjutan 1)

Tahun	Kasus	Keterangan Kasus	Aksi
2026	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada bus Tanjung Redep 500 kV
2029	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Bontang-Tanjung Redep
2032	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator LNG LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Ketapang-Sampit
2035	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator LNG Sei Raya1 <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Sampit-Palangkaraya
2040	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Satu Saluran <i>Double Circuit</i> Palangkaraya-Banjarmasin
2045	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) <i>trip</i>
	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Bus Ketapang 500 kV
2050	Kasus 1	<i>1 Genetor Outage</i>	Generator Kaltimra Manggar 400 MW <i>trip</i>
	Kasus 2	<i>2 Genetor Outage</i>	Generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW <i>trip</i>

**Tabel 4.1** Studi Kasus Kestabilan Transien (Lanjutan 2)

Tahun	Kasus	Keterangan Kasus	Aksi
2050	Kasus 3	<i>Short Circuit</i> 3 Fasa	<i>Short Circuit</i> pada Bus Bontang 500 kV

## 4.2 Hasil Simulasi Kestabilan Transien

Simulasi kestabilan transien digunakan untuk menganalisis respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi. Pada kasus *generator outage* dan *short circuit* parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pada kasus *generator outage*, analisis sudut rotor pada tiga generator dari masing-masing area. Respon sudut rotor, tegangan, dan frekuensi dengan parameter bus 150 kV yang dekat dengan *generator outage* dan seluruh bus *backbone* 500 kV
2. Pada kasus *short circuit*, yang dianalisis adalah respon sudut rotor generator bus 150 kV, respon tegangan, dan respon frekuensi pada bus *backbone* 500 kV.

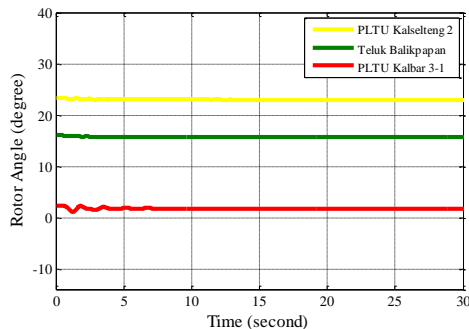
### 4.2.2 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 *Generator Outage* pada PLTU Kalbar 2 Tahun 2023 ( $t=0,2s$ )

Pada studi kasus PLTU Kalbar 2 *trip* memiliki kapasitas daya sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 50 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2023 sebesar 2783 MW dengan total beban 2669,6 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 1,79%. Pada Gambar 4.1, ditunjukkan bahwa masing-masing generator mengalami respon sudut rotor yang berbeda-beda. Generator PLTU Kalbar 3-1 merupakan generator yang paling dekat dengan generator *trip*. Generator PLTU Kalbar 3-1 mengalami perubahan sudut rotor 2,213455 *degree* menjadi 1,077248 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 5,56 detik dengan sudut rotor 1,702771 *degree*. Pada generator PLTU Kalselteng 2 mengalami perubahan sudut rotor sangat kecil yaitu 23,312769 *degree* menjadi 23,121203 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 3,791667 detik dengan sudut 23,000096 *degree*. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu 16,04509 *degree* menjadi 15,866022 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 2,271667 detik 15,803919 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia

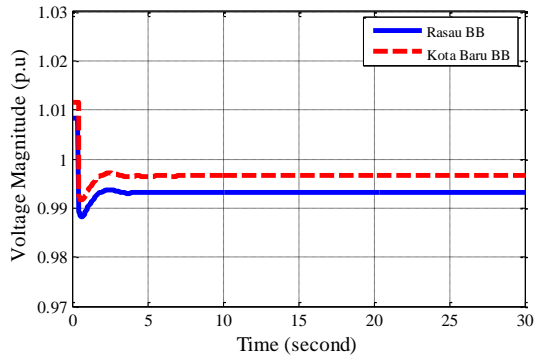
semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalbar 2 *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

Pada Gambar 4.2, saat PLTU Kalbar 2 *trip* menunjukkan perubahan respon tegangan pada bus 150 kV. Perubahan tegangan yang diamati pada bus 150 kV yang dekat dengan *generator* outage. Pada bus Kota Baru mengalami perubahan tegangan dari 1,011614 p.u menjadi 0,994109 p.u pada waktu 0,305 detik dan kembali *steady state* pada waktu 3,861667 detik dengan tegangan 0,996452 p.u. Pada bus Rasau perubahan tegangan yang terjadi yaitu 1,008183 p.u menjadi 0,990737 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 4,131667 detik dengan tegangan 0,99315 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

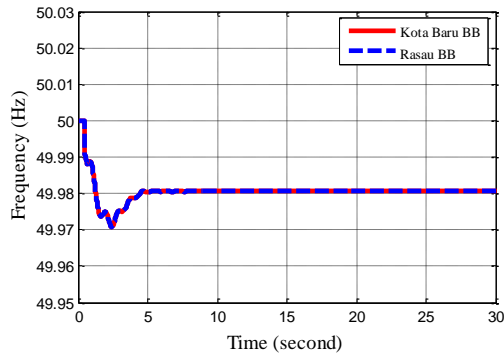
Respon frekuensi pada bus 150 kV yaitu pada bus Kota Baru dan Rasau. Bus Kota baru dan bus Rasau mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,994938 p.u. Perubahan frekuensi yang terjadi pada kedua bus mencapai 49,970741 Hz pada waktu 2,291667 detik. Perubahan frekuensi yang terjadi akan kembali mencapai *steady state* pada waktu 5,121667 detik dengan frekuensi 49,98051 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalbar 2 *trip* masih diperkanankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi pada bus 150 kV saat PLTU Kalbar 3-1 *trip* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.1** Respon Sudut Rotor Generator Saat PLTU Kalbar 2 *Trip*



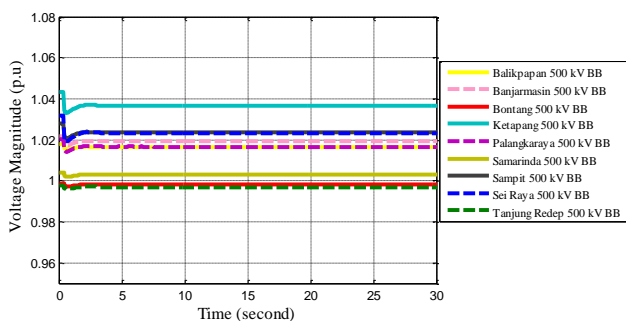
**Gambar 4.2** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 *Trip*



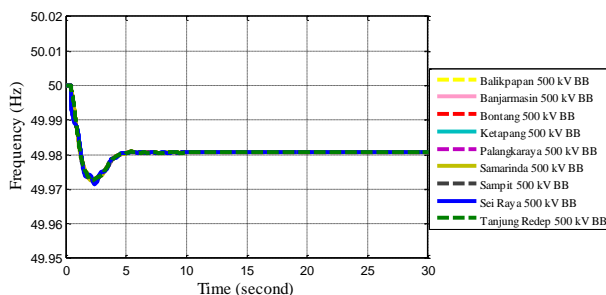
**Gambar 4.3** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 *Trip*

Pada Gambar 4.4, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalbar 2 *trip*. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 1,01769 p.u menjadi 1,016193 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,641667 detik dengan tegangan 1,016569 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,021602 p.u menjadi 1,018612 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,441667 detik dengan tegangan 1,019359 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,998812 p.u menjadi 0,997835 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 1,861667 detik dengan tegangan 0,998154 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,043361 p.u menjadi 1,03517 p.u dan kembali

*steady state* pada waktu 3,251667 detik dengan tegangan 1,036646 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,020107 p.u menjadi 1,015847 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 3,401667 detik dengan tegangan 1,016658 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 1,003837 p.u menjadi 1,002668 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 1,941667 detik dengan tegangan 1,00303 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,027736 p.u menjadi 1,022552 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,491667 detik dengan tegangan 1,023736 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,03188 p.u menjadi 1,021501 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,481667 detik dengan tegangan 1,023758 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,997639 p.u menjadi 0,997115 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,011667 detik dengan tegangan 0,99711 p.u.



**Gambar 4.4** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip



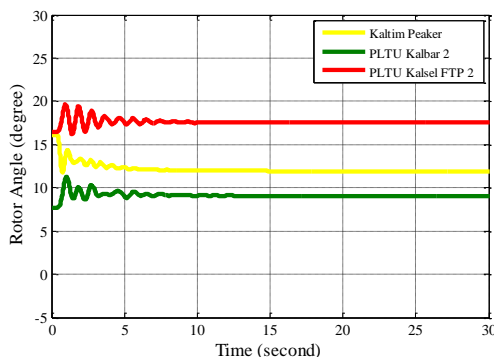
**Gambar 4.5** Respon Frekuensi pada Bus Backbone 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 Trip

Respon frekuensi saat generator PLTU Kalbar 2 *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz sampai mencapai 49,972545 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 5,691667 detik dengan frekuensi 49,98 Hz. Hasil simulasi respon frekuensi pada bus 500 kV dapat dilihat pada Gambar 4.5.

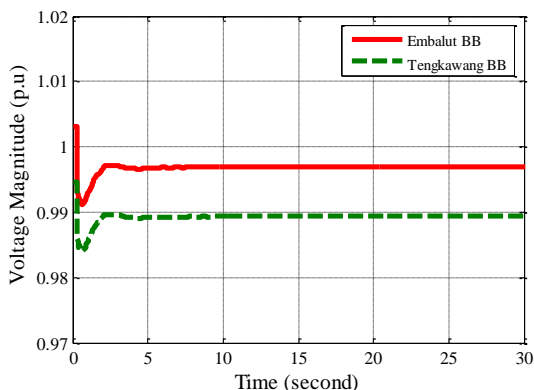
#### **4.2.3 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 generator outage pada PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Tahun 2023 ( $t=0,2s$ )**

Pada studi kasus 2 yaitu dua generator dari PLTU Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) *trip* dengan kapasitas daya masing-masing sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan pada masing-masing generator adalah 70 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2023 sebesar 2783 MW dengan total beban 2669,6 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 5,03 %. Pada Gambar 4.6, generator yang dijadikan parameter adalah PLTU Kalbar 2, Kaltim Peaker, dan PLTU Kalsel FTP 2. Respon sudut rotor generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor dari 7,686314 *degree* menjadi 11,24521 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 7,771666 detik dengan sudut 9,137853 *degree*. Pada generator Kaltim Peaker 16,14296 *degree* menjadi 11,7707 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 7,771666 detik dengan sudut 9,137853 *degree*. Pada PLTU Kalsel FTP 2 mengalami perubahan sudut rotor 16,472935 *degree* menjadi 19,63371 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 9,591666 detik dengan sudut 17,538472 *degree*.

Saat PLTU Kalbar 2 *trip* menunjukkan perubahan respon tegangan pada bus 150 kV yaitu bus Embalut dan Tengkwang. Perubahan tegangan yang diamati pada bus Embalut mengalami perubahan tegangan dari 1,003106 p.u menjadi 0,991149 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,161667 detik dengan tegangan 0,996752 p.u. Pada bus Tengkwang perubahan tegangan yang terjadi yaitu 0,994649 p.u menjadi 0,983963 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,691667 detik dengan tegangan 0,98925 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan. Respon tegangan saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.7.



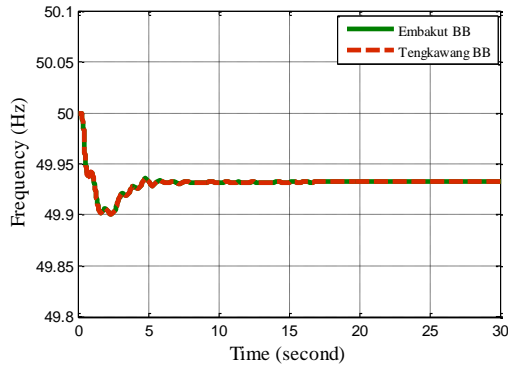
**Gambar 4.6** Respon Sudut Rotor saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) Trip



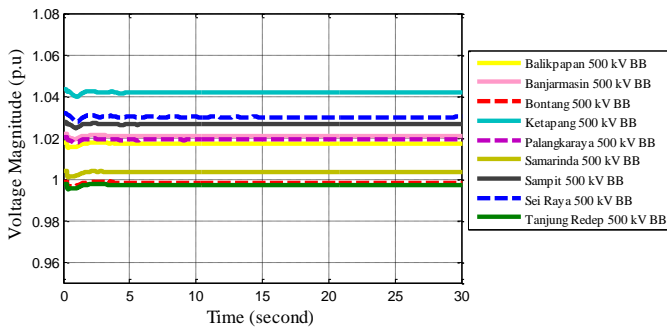
**Gambar 4.7** Respon Tegangan pada Bus 150 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) Trip

Pada Gambar 4.8, respon frekuensi pada bus 150 kV yaitu pada bus Embalut dan bus Tengkwang. Pada bus Embalut dan bus Tengkwang mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,994122 p.u. Perubahan frekuensi yang terjadi pada kedua bus mencapai 49,90098 Hz pada waktu 2,181667 detik. Perubahan frekuensi yang terjadi akan kembali mencapai *steady state* pada waktu 7,991666 detik dengan frekuensi 49,931609 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) trip masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.





**Gambar 4.8** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) Trip

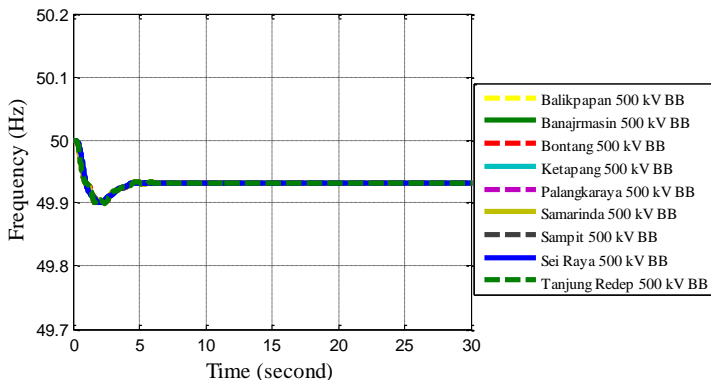


**Gambar 4.9** Respon Tegangan pada Bus 500 kV saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) Trip

Pada Gambar 4.9, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) trip. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 1,01769 p.u menjadi 1,015616 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 3,161667 detik dengan tegangan 1,017418 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,021602 p.u menjadi 1,02045 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 1,941667 detik dengan tegangan 1,021212 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,998812 p.u menjadi 0,996783 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,261667 detik dengan tegangan 0,998828 p.u. Bus

Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,043361 p.u menjadi 1,04264 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,471667 detik dengan tegangan 1,04163 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,020107 p.u menjadi 1,019164 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 1,801667 detik dengan tegangan 1,0192 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 1,003837 p.u menjadi 1,001405 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,261667 detik dengan tegangan 1,003746 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,027736 p.u menjadi 1,026886 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,151667 detik dengan tegangan 1,026892 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,03188 p.u menjadi 1,031275 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,571667 detik dengan tegangan 1,030007 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,997639 p.u menjadi 0,995724 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 2,321667 detik dengan tegangan 0,997653 p.u.

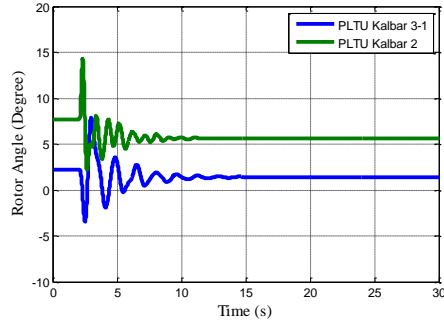
Pada Gambar 4.10, respon frekuensi saat generator Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz sampai mencapai 49,9 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 6,231667 detik dengan frekuensi 49,93 Hz.



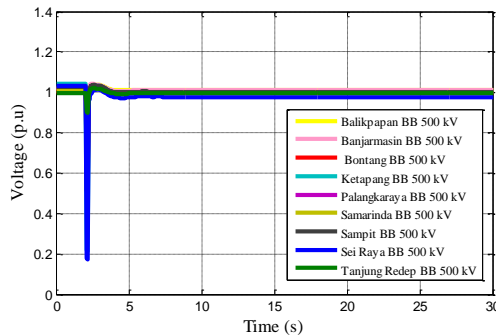
**Gambar 4.10** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Kaltim 4 dan Kaltim 4(1) *Trip*

#### 4.2.4 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 *Short Circuit* Satu Saluran *Double Circuit* Sei Raya-Ketapang Tahun 2023 ( $t=2s$ )

Pada kasus 3 yaitu *short circuit* satu saluran *double circuit* pada saluran Sei Raya-Ketapang. Respon sudut rotor pada generator PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 3-1 yang merupakan generator yang terdekat dengan bus Sei Raya dan Ketapang. Pada PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut dari 7,686314 *degree* menjadi 7,701503 *degree* pada waktu 2,005 detik dan kembali *steady state* pada waktu 13,211666 detik dengan sudut 5,609523 *degree*. Pada generator PLTU Kalbar 3-1 mengalami perubahan sudut rotor dari 2,213455 *degree* menjadi 2,210653 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 15,601666 detik dengan sudut 1,40932 *degree*. Respon sudut rotor untuk kasus *short circuit* satu saluran *double circuit* Sei Raya-Ketapang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

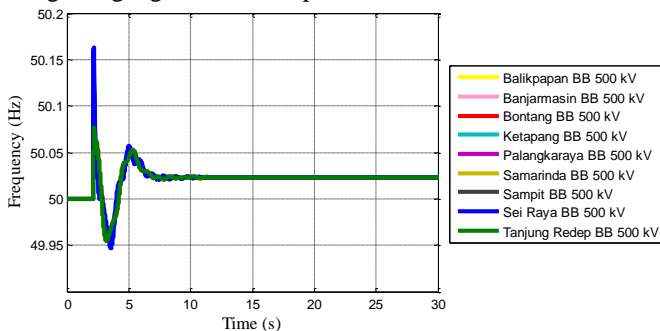


**Gambar 4.11** Respon Sudut Rotor Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Sei Raya-Ketapang



**Gambar 4.12** Respon Tegangan Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Sei Raya-Ketapang

Pada Gambar 4.12, respon tegangan yang diamati saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Sei Raya-Ketapang adalah bus 500 kV pada *backbone* 500 kV. Respon tegangan pada Bus Balikpapan dari 1,01769 p.u menjadi 0,882115 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,461667 detik dengan tegangan 1,012768 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,021602 p.u menjadi 0,742348 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,321667 detik dengan tegangan 1,009396 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,998812 p.u menjadi 0,910948 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,241667 detik dengan tegangan 0,996082 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,043361 p.u menjadi 0,227751 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,361667 detik dengan tegangan 0,999912 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,020107 p.u menjadi 0,614012 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,381667 detik dengan tegangan 1,001009 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 1,003837 p.u menjadi 0,898947 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,281667 detik dengan tegangan 1,000411 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,027736 p.u menjadi 0,527619 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,431667 detik dengan tegangan 1,003302 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,03188 p.u menjadi 0,190116 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,541667 detik dengan tegangan 0,978211 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,997639 p.u menjadi 0,914321 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 5,241667 detik dengan tegangan 0,995104 p.u.



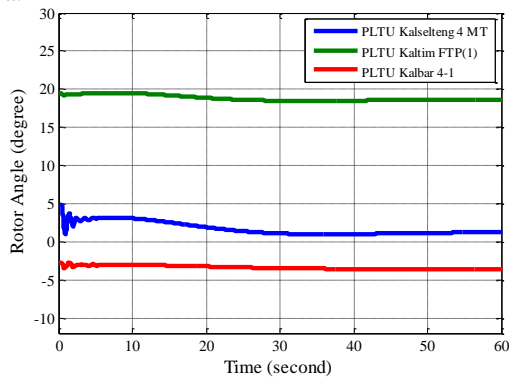
**Gambar 4.13** Respon Frekuensi Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Sei Raya-Ketapang

Respon frekuensi yang dijadikan parameter saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Sei Raya-Ketapang adalah bus 500 kV pada *backbone* 500 kV. Pada Gambar 4.13, respon frekuensi pada Bus Balikpapan dari 50 Hz menjadi 50,033407 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,561667 detik dengan frekuensi 50,022973 Hz. Bus Banjarmasin mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,043729 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,591667 detik dengan frekuensi 50,023398 Hz. Pada bus Bontang mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,029136 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,521667 detik dengan frekuensi 50,023039 Hz. Bus Ketapang mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,065341 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,501667 detik dengan frekuensi 50,023098 Hz. Bus Palangkaraya mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,053349 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,581667 detik dengan frekuensi 50,023409 Hz. Bus Samarinda mengalami perubahan frekuensi 50 Hz menjadi 50,030686 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,541667 detik dengan frekuensi 50,022998 Hz. Bus Sampit mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,058309 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,521667 detik dengan frekuensi 50,023202 Hz. Bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,097912 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,491667 detik dengan frekuensi 50,022965 Hz. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,028381 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 8,481667 detik dengan frekuensi 50,023298 Hz.

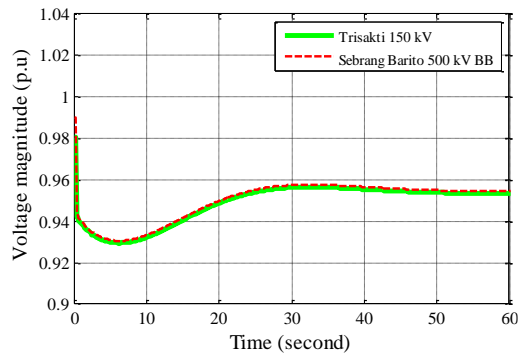
#### **4.2.5 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Generator Outage pada PLTU Kalsel 1 Tahun 2026 ( $t=0,2s$ )**

Pada studi kasus PLTU Kalsel 1 *trip* memiliki kapasitas daya sebesar 200 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 150 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2026 sebesar 3549 MW dengan total beban 3384,2 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 4,22%. Pada Gambar 4.14, ditunjukkan bahwa masing-masing generator mengalami perubahan sudut rotor pada PLTU Kalbar 4-1, PLTU Kalselteng 4 MT, dan PLTU Kaltim FTP(1). Generator PLTU Kalbar 4-1 mengalami perubahan sudut rotor - 2,692386 *degree* menjadi -3,53179 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 5,468333 detik dengan sudut rotor -3,070949 *degree*. Pada

generator PLTU Kalselteng 4 MT mengalami perubahan sudut rotor yaitu 4,843251 *degree* menjadi 1,021419 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 30,731666 detik dengan sudut 1,040796 *degree*. Pada PLTU Kaltim FTP(1) mengalami perubahan sudut rotor yaitu 19,401981 *degree* menjadi 19,174614 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 2,455 detik 19,358411 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalsel 1 sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.



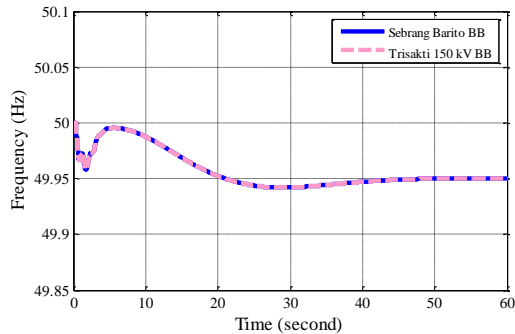
**Gambar 4.14** Respon Sudut Rotor Generator Saat PLTU Kalsel 1 Trip



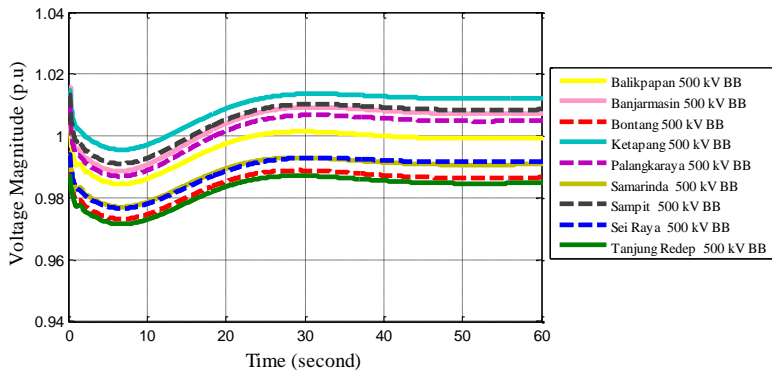
**Gambar 4.15** Respon Tegangan Bus 150 kV saat PLTU Kalsel 1 Trip

Respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalsel 1 *trip* yaitu pada bus Trisakti 150 kV dan bus Sebrang Barito. Bus Trisakti 150 kV mengalami perubahan tegangan dari 0,99034 p.u menjadi 0,947764 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,271666 detik dengan tegangan 0,95738 p.u. Pada bus Sebrang Barito mengalami perubahan tegangan dari 0,980487 p.u menjadi 0,946648 p.u dan kembali *steady state* pada 29,271666 dengan tegangan 0,95623 p.u. Hasil simulasi respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalsel 1 *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Pada Gambar 4.16, respon frekuensi saat PLTU Kalsel 1 *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Trisakti 150 kV dan Sebrang Barito. Pada bus Trisakti 150 kV dan Sebrang Barito mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,992425 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 43,429999 detik dengan frekuensi 49,9487 Hz.

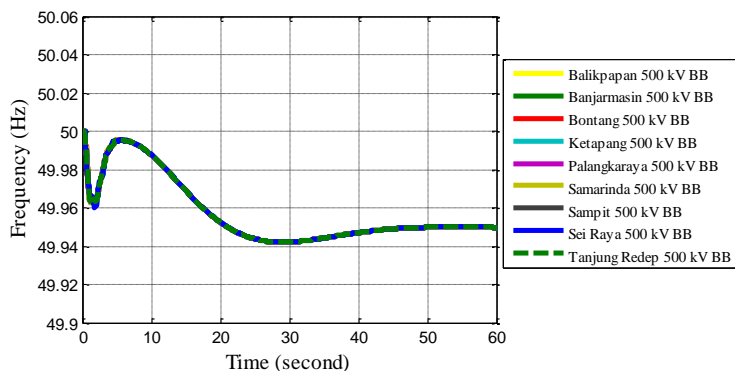


**Gambar 4.16** Respon Frekuensi Bus 150 kV saat PLTU Kalsel *Trip*



**Gambar 4.17** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel 1 *Trip*

Pada Gambar 4.17, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalsel 1 *trip*. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 1,003656 p.u menjadi 0,997385 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,468333 detik dengan tegangan 1,00141 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,015562 p.u menjadi 1,003808 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,388333 detik dengan tegangan 1,00916 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,989239 p.u menjadi 0,984911 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,458333 detik dengan tegangan 0,988866 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,014792 p.u menjadi 1,009103 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,398333 detik dengan tegangan 1,01348 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,01066 p.u menjadi 1,001512 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,368333 detik dengan tegangan 1,0066 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,9943 p.u menjadi 0,989228 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,168333 detik dengan tegangan 0,99298 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,013193 p.u menjadi 1,005301 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,228333 detik dengan tegangan 1,0101 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,993804 p.u menjadi 0,989111 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,238333 detik dengan tegangan 0,99278 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,987242 p.u menjadi 0,983121 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,138333 detik dengan tegangan 0,98712 p.u.



**Gambar 4.18** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel 1 *Trip*



Kasus *generator outage* pada PLTU Kalsel 1 *trip* diperoleh respon frekuensi dari bus 500 kV yaitu pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep. Semua bus mengalami perubahan yang hampir sama yaitu dari 50 Hz menjadi 49,998 Hz dan akan mengalami perubahan hingga mencapai *steady state* pada waktu 48,679999 detik dengan frekuensi 49,949795 Hz. Hasil simulasi dari respon frekuensi pada bus 500 kV ditunjukkan pada Gambar 4.18.

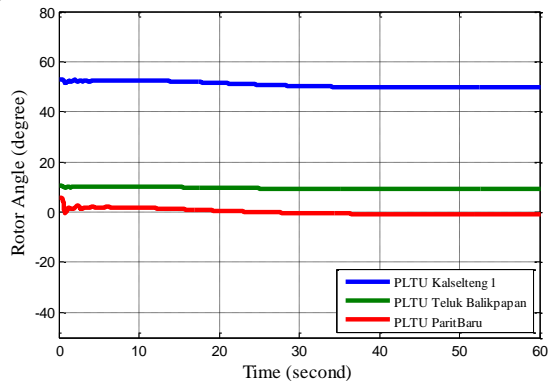
#### **4.2.6 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 Generator Outage pada PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) Tahun 2026 ( $t=0,2s$ )**

Kasus *generator outage* pada PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) dengan kapasitas daya masing-masing 100 MW. Daya yang dibangkitkan generator PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) sebesar 70 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2026 sebesar 3549 MW dan kapasitas beban 338412 MW, sistem kehilangan suplai daya sebesar 140 MW atau 3,94 %. Pada Gambar 4.19, ditunjukkan generator yang dijadikan parameter yaitu PLTU Parit Baru, PLTU Kalselteng 1, dan Teluk Balikpapan. Pada PLTU Parit Baru mengalami perubahan sudut rotor yaitu dari 5,782854 *degree* hingga mencapai -0,606857 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 6,680833 dengan sudut 1,892405 *degree*. Generator PLTU Kalselteng 1(1) mengalami perubahan sudut rotor yaitu 53,10632 *degree* menjadi 51,48776 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 4,214167 detik dengan sudut 52,385675 *degree*. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu 10,375328 *degree* menjadi 9,831218 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 2,8175 detik dengan sudut 10,058233 *degree*.

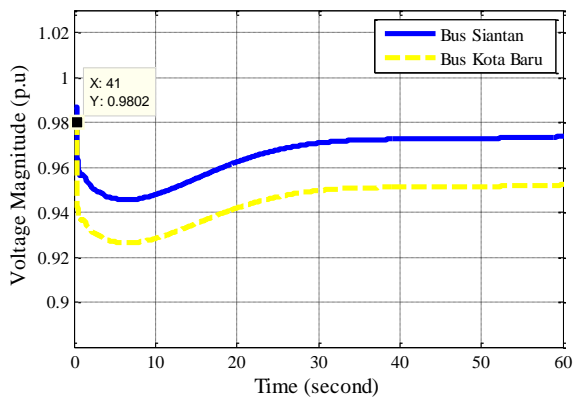
Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) *trip* menunjukkan perubahan respon tegangan pada bus 150 kV yaitu bus Siantan dan bus Kota Baru. Perubahan tegangan yang diamati pada bus Kota Baru mengalami perubahan tegangan dari 0,98016 p.u menjadi 0,961951 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 32,367499 detik dengan tegangan 0,950621 p.u. Pada bus Siantan perubahan tegangan yang terjadi yaitu 0,98686 p.u menjadi 0,976124 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 32,377499 detik dengan tegangan 0,971901 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan. Respon

tegangan saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.20.

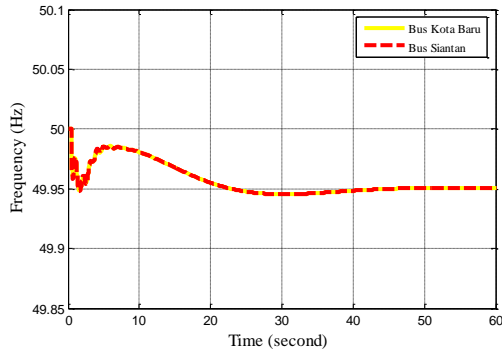
Pada Gambar 4.21, respon frekuensi saat PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Kota Baru dan bus Siantan. Pada bus Kota Baru dan Siantan mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,98 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 28,077499 detik dengan frekuensi 49,945504 Hz.



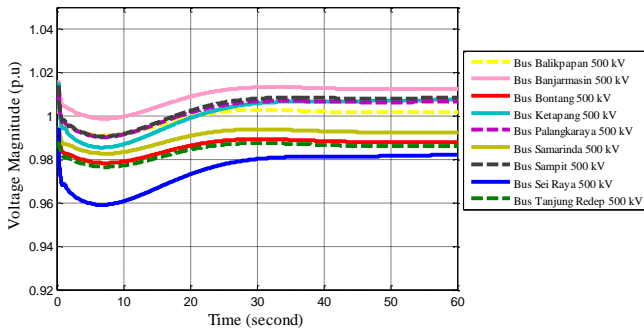
**Gambar 4.19** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) *Trip*



**Gambar 4.20** Respon Tegangan pada bus 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) *Trip*



**Gambar 4.21** Respon Frekuensi pada Bus *backbone* 150 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) Trip

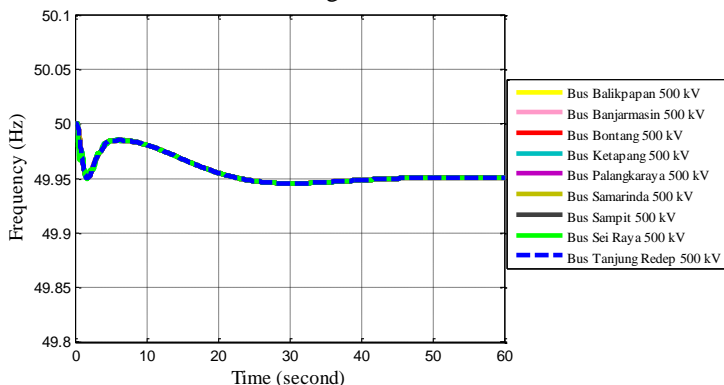


**Gambar 4.22** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) Trip

Respon tegangan yang terjadi saat generator Kalbar 2 dan Kalbar 2(1) trip. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 1,003656 p.u menjadi 1,002388 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,300833 detik dengan tegangan 1,0027 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,015562 p.u menjadi 1,013226 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,214166 detik dengan tegangan 1,01305 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,989239 p.u menjadi 0,988359 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,270833 detik dengan tegangan 0,98925 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,014792 p.u menjadi 1,008652 p.u dan kembali *steady*

*state* pada waktu 28,290833 detik dengan tegangan 1,00554 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,01066 p.u menjadi 1,007378 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,167499 detik dengan tegangan 1,00647 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,9943 p.u menjadi 0,993267 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,31083 detik dengan tegangan 0,99374 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,013193 p.u menjadi 1,009243 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,330833 detik dengan tegangan 1,0078 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,993804 p.u menjadi 0,985127 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,290833 detik dengan tegangan 0,97991 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,987242 p.u menjadi 0,986404 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,270833 detik dengan tegangan 0,98742 p.u. Respon tegangan saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.22.

Pada Gambar 4.23, respon frekuensi saat generator PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,995 Hz sampai mencapai 49,95 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 25,127499 detik dengan frekuensi 49,946801 Hz.

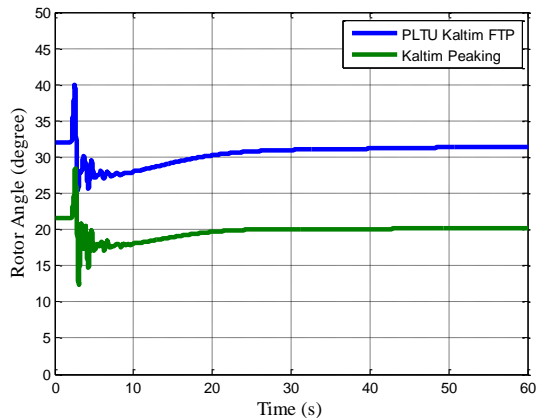


**Gambar 4.23** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar 2 dan PLTU Kalbar 2(1) *Trip*

#### 4.2.7 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan *Short Circuit* pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV Tahun 2026 (t=2s)

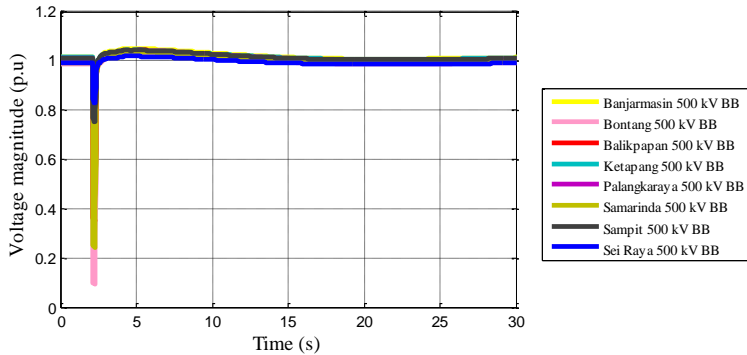
Respon sudut rotor pada kasus gangguan *short circuit* bus Tanjung Redep. Generator yang diamati adalah generator PLTU Kaltim FTP dan Kaltim Peaking. PLTU Kaltim FTP mengalami perubahan sudut 32,08 *degree* menjadi 39,91 *degree* dan kembali *steady state* pada sudut 30,75 *degree*. Respon sudut rotor pada Kaltim peaking yaitu 21,58 *degree* berubah menjadi 28,49 *degree* dan kembali *steady state* pada sudut 19,78 *degree*. Respon sudut rotor saat gangguan *short circuit* pada Bus Tanjung Redep ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Kasus gangguan *short circuit* pada bus Tanjung Redep backbone 500 kV merupakan gangguan *short circuit* tiga fasa. Dengan memberikan gangguan pada bus dan kedua saluran *double circuit* pada backbone 500 kV trip sehingga menyebabkan tegangan mengalami perubahan. Pada Gambar 4.25, perubahan tegangan cukup besar masing-masing parameter bus yang dianalisis. Perubahan tegangan terbesar terjadi pada bus Bontang 500 kV dari 0,989239 p.u menjadi 0,546517 p.u atau mencapai 81%. Sedangkan perubahan tegangan paling rendah terdapat pada bus Tanjung Redep 500 kV yaitu dari tegangan sebesar 0,993804 p.u menjadi 0,926022 p.u. Meskipun perubahan sangat besar tetapi sistem kembali *steady state* pada tegangan pada waktu 15,63 detik.

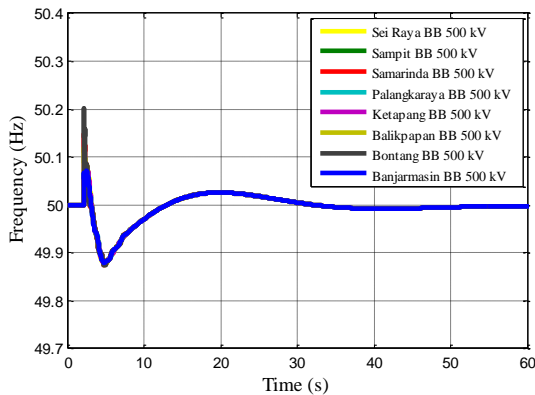


**Gambar 4.24** Respon Sudut Rotor Gangguan *Short Circuit* pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV

Pada Gambar 4.26, dapat dianalisis respon frekuensi saat gangguan *short circuit* pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang tidak terlalu besar. Perubahan frekuensi paling tinggi terjadi pada bus Bontang 500 kV dengan perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,08041 Hz pada waktu 2,01833 detik. Perubahan frekuensi tersebut juga terjadi pada bus *backbone* 500 kV yang lain yaitu bus Sei Raya, Sampit, Samarinda, Palangkaraya, Ketapang, Balikpapan, dan Banjarmasin. Meskipun mengalami perubahan frekuensi namun sistem akan kembali *steady state* pada waktu 29,89 detik.



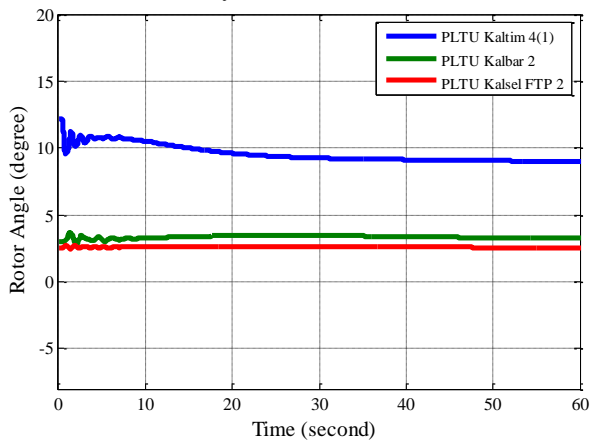
**Gambar 4.25** Respon Tegangan Gangguan *Short Circuit* pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV



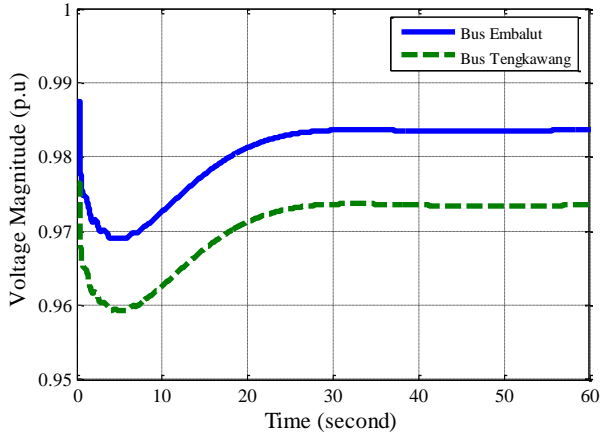
**Gambar 4.26** Respon Frekuensi Gangguan *Short Circuit* pada Bus Tanjung Redep Backbone 500 kV

#### 4.2.8 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 *Generator Outage* pada PLTU Kaltim 4 Tahun 2029 ( $t=0,2$ s)

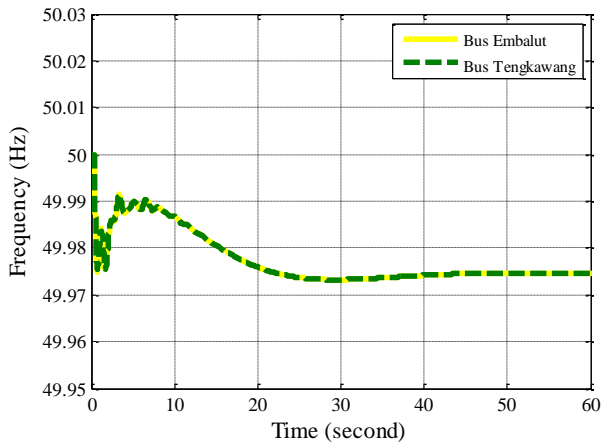
Pada studi kasus PLTU Kaltim 4 *trip* memiliki kapasitas daya sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 70 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2029 sebesar 4173 MW dengan total beban 4152,44 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 1,67%. Pada Gambar 4.27, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah PLTU Kaltim 4 (1) yang merupakan generator terdekat dari *generator outage*, PLTU Kalbar 2, dan PLTU Kalsel FTP 2. Generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor 2,975923 *degree* menjadi 3,557291 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 11,524166 detik dengan sudut rotor 3,294447 *degree*. Pada generator PLTU Kalsel FTP 2 mengalami perubahan sudut 2,540767 *degree* menjadi 2,732391 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 4,6675 detik dengan sudut 2,563298 *degree*. Pada Kaltim 4(1) mengalami perubahan sudut rotor yaitu 12,226988 *degree* menjadi 9,561928 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 23,034166 detik 9,431564 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kaltim 4 *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.



**Gambar 4.27** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kaltim 4 *trip*



**Gambar 4.28** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 *trip*



**Gambar 4.29** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 *trip*

Pada Gambar 4.28, Respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kaltim 4 *trip* yaitu pada bus Embalut dan bus Tengawang. Bus Embalut mengalami perubahan tegangan dari 0,987497 p.u menjadi 0,983203 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,957499 detik dengan tegangan 0,983575 p.u. Pada bus Tengawang mengalami perubahan tegangan dari

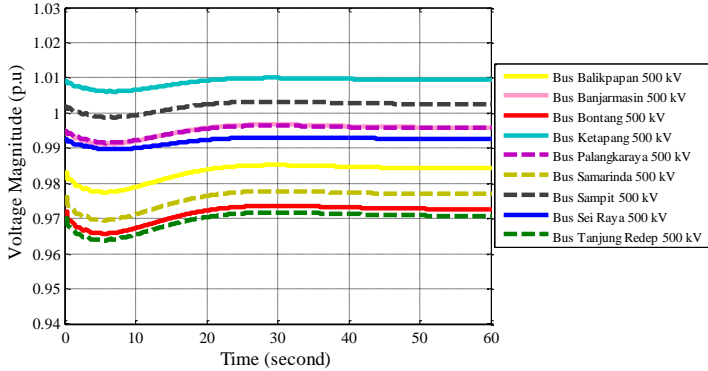


0,980487 p.u menjadi 0,972697 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,837499 detik dengan tegangan 0,973595 p.u.

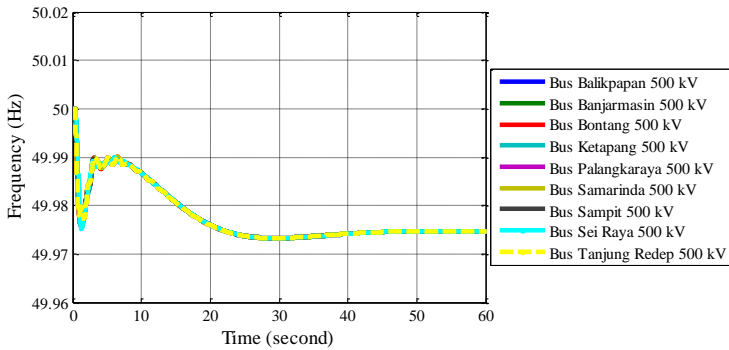
Pada Gambar 4.29, respon frekuensi saat PLTU Kaltim 4 *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Embalut dan bus Tengkawang. Pada bus Embalut dan bus Tengkawang mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,994 Hz hingga mencapai 49,975593 Hz pada 0,614167 dan kembali *steady state* pada waktu 25,840833 detik dengan frekuensi 49,973436 Hz.

Pada Gambar 4.30, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kaltim 4 *trip*. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,983171 p.u menjadi 0,982388 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,260833 detik dengan tegangan 0,9846 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,994919 p.u menjadi 0,994537 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,320833 detik dengan tegangan 0,9963 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,971984 p.u menjadi 0,971149 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,270833 detik dengan tegangan 0,973 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,009091 p.u menjadi 1,008913 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,270833 detik dengan tegangan 1,00965 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,99494 p.u menjadi 0,994647 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,250833 detik dengan tegangan 0,99604 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,976059 p.u menjadi 0,975105 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,250833 detik dengan tegangan 0,97716 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,001992 p.u menjadi 1,00174 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,300833 detik dengan tegangan 1,00291 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,992523 p.u menjadi 0,992376 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,240833 detik dengan tegangan 0,99273 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,970134 p.u menjadi 0,96933 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 22,260833 detik dengan tegangan 0,9711p.u.

Pada Gambar 4.31, respon frekuensi saat generator PLTU Kaltim 4 *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,997 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,00083 detik dengan frekuensi 49,9733 Hz.



**Gambar 4.30** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 *trip*

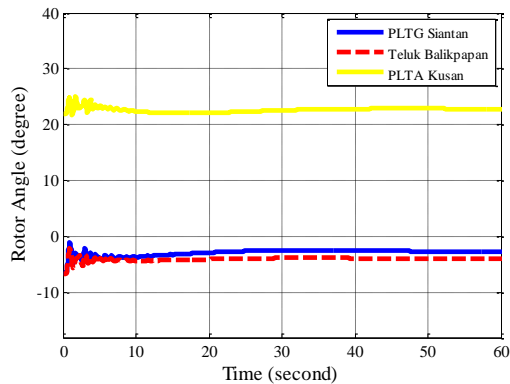


**Gambar 4.31** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 *trip*

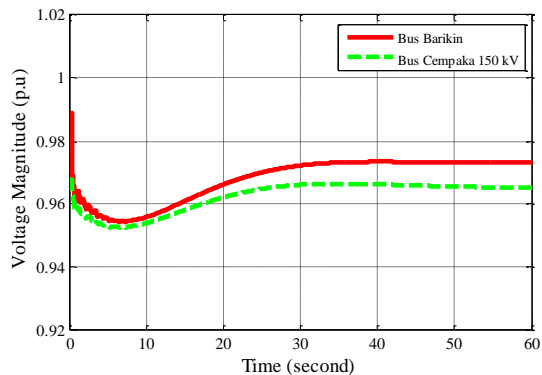
#### 4.2.9 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 *Generator Outage* pada PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) Tahun 2029 ( $t=0,2s$ )

Pada studi kasus PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP (1) *trip* memiliki kapasitas daya sebesar 100 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 78 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2029 sebesar 4173 MW dengan total beban 4152,44 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 156 MW atau 3,73 %. Pada Gambar 4.32, generator yang diamati adalah PLTG Siantan, PLTA Kusan, dan Teluk

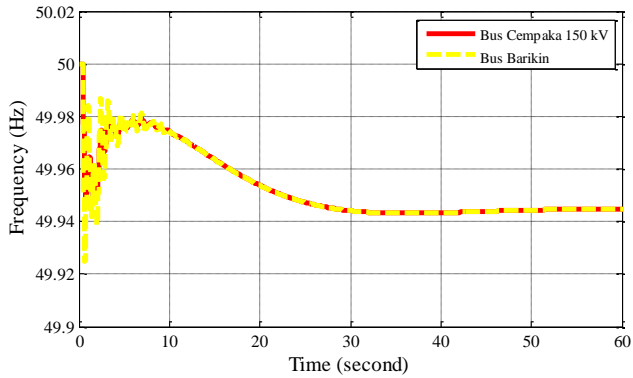
Balikpapan. Respon sudut rotor generator PLTG Siantan mengalami perubahan sudut rotor dari  $-6,468216$  degree menjadi  $-1,088714$  degree dan kembali *steady state* pada waktu 12,8575 detik dengan sudut  $-3,345714$  degree. Pada generator PLTA Kusan 21,884931 degree menjadi 24,780212 degree dan kembali *steady state* pada waktu 10,5275 detik dengan sudut 22,298885 degree. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor  $-6,614738$  degree menjadi  $-2,019957$  degree dan kembali *steady state* pada waktu 9,904166 detik dengan sudut  $-4,270821$  degree.



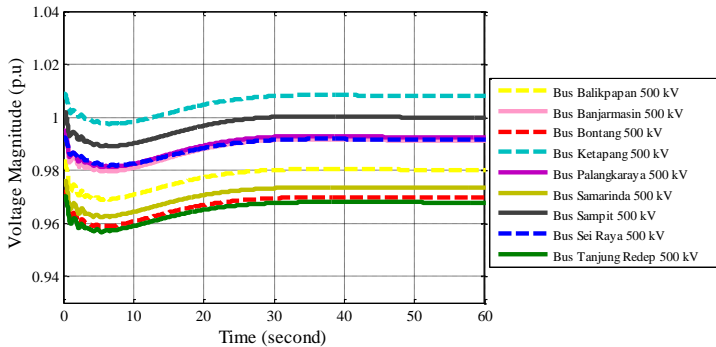
**Gambar 4.32** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip*



**Gambar 4.33** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*

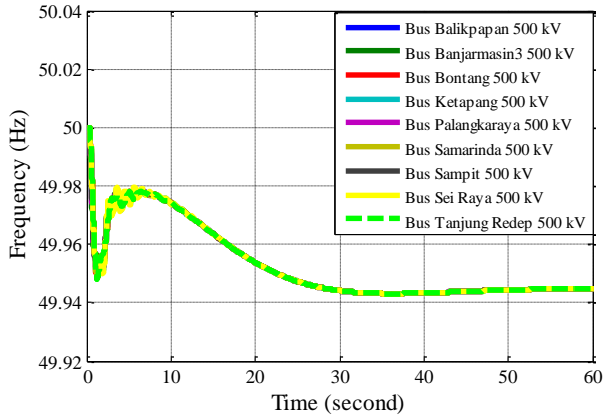


**Gambar 4.34** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*



**Gambar 4.35** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*

Pada Gambar 4.33, respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) yaitu pada bus Barikin dan bus Cempaka 150 kV. Bus Barikin mengalami perubahan tegangan dari 0,988824 p.u menjadi 0,97866 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,517499 detik dengan tegangan 0,972601 p.u. Pada bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan tegangan dari 0,967639 p.u menjadi 0,965455 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,517499 detik dengan tegangan 0,966339 p.u.



**Gambar 4.36** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*

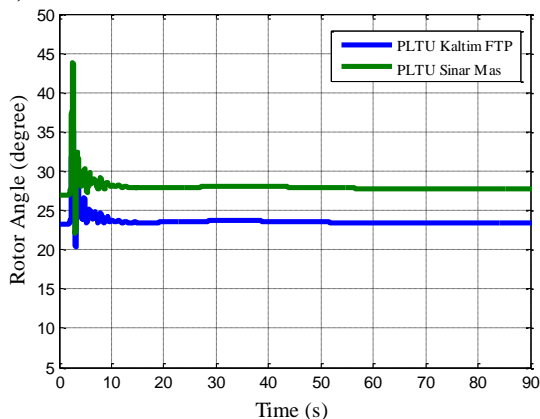
Pada Gambar 4.34, respon frekuensi saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Barikin yaitu 50 Hz menjadi 49,981834 Hz hingga mencapai 49,924738 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,397499 detik dengan tegangan 49,943753 Hz. Pada bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,991841 Hz hingga mencapai 49,950015 Hz pada 0,614167 dan kembali *steady state* pada waktu 30,397499 detik dengan frekuensi 49,943768 Hz.

Pada Gambar 4.35, menunjukkan respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip*. Bus yang dijadikan parameter merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,983171 p.u menjadi 0,982206 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,98012 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,994919 p.u menjadi 0,993373 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,991422 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,971984 p.u menjadi 0,971264 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,96947 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,009091 p.u menjadi 1,008377 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 1,008009 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,99494 p.u menjadi 0,993757 p.u

dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,992619 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,976059 p.u menjadi 0,975238 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,973245 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,001992 p.u menjadi 1,000977 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 1,00011 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,992523 p.u menjadi 0,991933 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,991465 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,970134 p.u menjadi 0,96944 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,394166 detik dengan tegangan 0,967643 p.u.

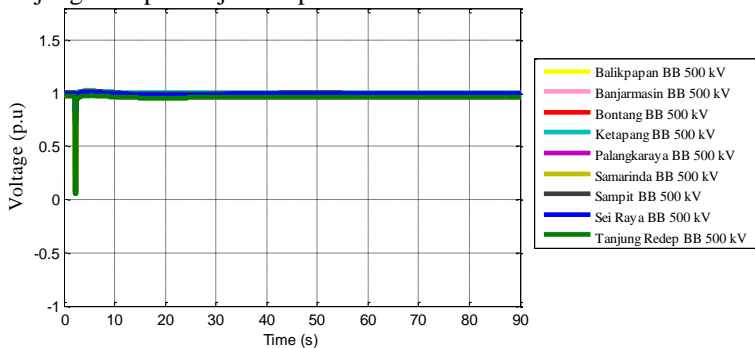
Pada Gambar 4.36, respon frekuensi saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,997 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 29,374166 detik dengan frekuensi 49,944117 Hz.

#### 4.2.10 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 *Short Circuit* Satu Saluran *Double Circuit* Bontang-Tanjung Redep Tahun 2029 (t=2s)

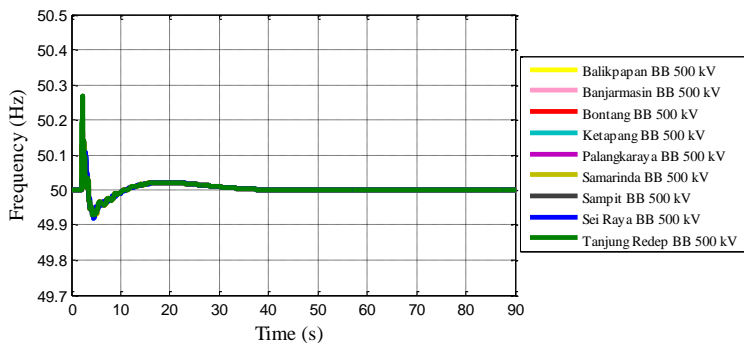


**Gambar 4.37** Respon Sudut Rotor Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Bontang-Tanjung Redep

Pada kasus 3 yaitu *short circuit* satu saluran *double circuit* pada saluran Bontang-Tanjung Redep. Respon sudut rotor pada generator PLTU Kaltim FTP dan PLTU Sinar Mas yang merupakan generator yang terdekat dengan bus Bontang dan Tanjung Redep. Pada PLTU Kaltim FTP mengalami perubahan sudut dari 15,27994 *degree* menjadi 15,292628 *degree* pada waktu 9,875833 detik dan kembali *steady state* pada waktu 15,124931 detik dengan sudut 5,609523 *degree*. Pada generator PLTU Sinar Mas mengalami perubahan sudut rotor dari 1,009762 *degree* menjadi 1,017848 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 11,925833 detik dengan sudut 1,708734 *degree*. Respon sudut rotor untuk kasus *short circuit* satu saluran *double circuit* Bontang-Tanjung Redep ditunjukkan pada Gambar 4.37.



**Gambar 4.38** Respon Tegangan Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Bontang-Tanjung Redep



**Gambar 4.39** Respon Frekuensi Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Bontang-Tanjung Redep

Pada Gambar 4.38, respon tegangan yang diamati saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Bontang-Tanjung Redep adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Respon tegangan pada Bus Balikpapan dari 0,983171 p.u menjadi 0,668542 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,975023 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,994919 p.u menjadi 0,826198 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,988665 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,971984 p.u menjadi 0,530207 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,962369 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,009091 p.u menjadi 0,927933 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 1,00488 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,99494 p.u menjadi 0,864094 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,989484 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,976059 p.u menjadi 0,610159 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,967347 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,001992 p.u menjadi 0,889101 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,996983 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,992523 p.u menjadi 0,926421 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,988808 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,970134 p.u menjadi 0,513569 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 13,848333 detik dengan tegangan 0,958386 p.u.

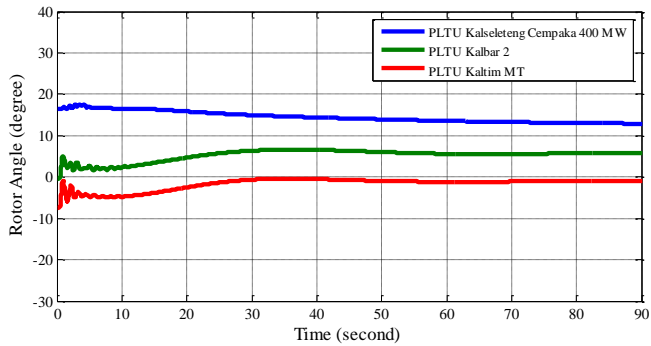
Respon frekuensi yang dijadikan parameter saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Bontang-Tanjung Redep adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Pada Gambar 4.39, respon frekuensi pada Bus Balikpapan dari 50 Hz menjadi 50,011435 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004479 Hz. Bus Banjarmasin mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,038179 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004474 Hz. Pada bus Bontang mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,019422 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004475 Hz. Bus Ketapang mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,009958 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,00451 Hz. Bus Palangkaraya mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,01109 Hz dan



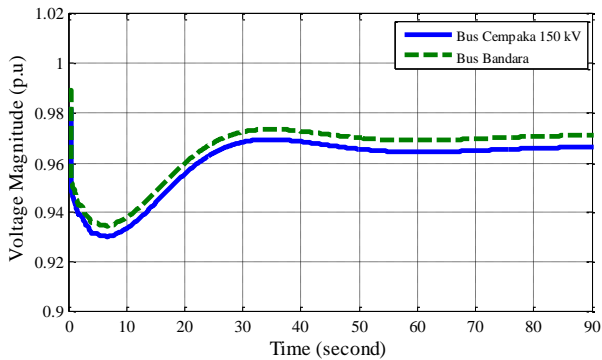
kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004491 Hz. Bus Samarinda mengalami perubahan frekuensi 50 Hz menjadi 50,024788 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004474 Hz. Bus Sampit mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,010855 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004498 Hz. Bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,009202 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004526 Hz. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,0475 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 32,405833 detik dengan frekuensi 50,004474 Hz.

#### **4.2.11 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Generator outage pada PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) Tahun 2032 ( $t=0,2s$ )**

Saat generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip*, kapasitas daya dari generator tersebut adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 300 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2032 sebesar 5187 MW dengan total beban 5182,177668 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 5,78%. Pada Gambar 4.40, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kalbar 2, PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW, dan PLTU Kaltim MT. Generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor -0,360237 *degree* menjadi -0,358502 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 27,400833 detik dengan sudut rotor 6,187115 *degree*. Pada generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW mengalami perubahan sudut rotor yaitu 16,558028 *degree* menjadi 16,55787 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 4,8875 detik dengan sudut 16,830615 *degree*. Pada PLTU Kaltim MT mengalami perubahan sudut rotor yaitu -7,544328 *degree* menjadi -7,542461 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 27,740833 detik -0,788621 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.



**Gambar 4.40** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) Trip

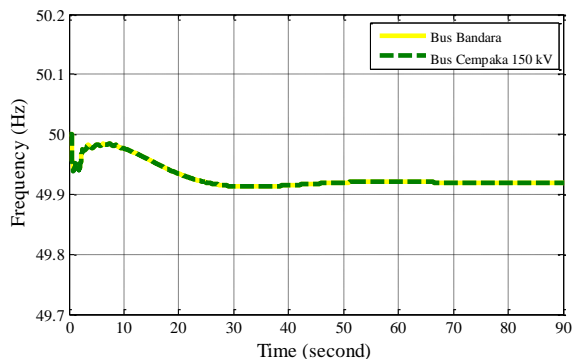


**Gambar 4.41** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) trip

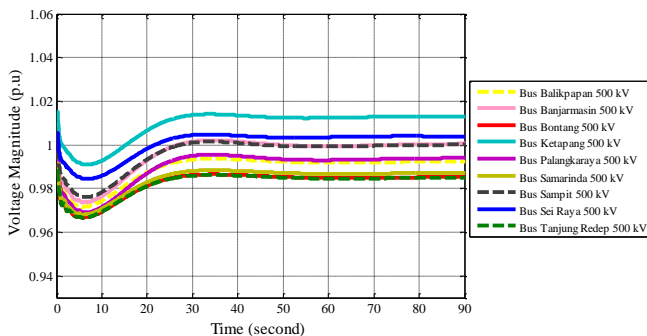
Respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) trip yaitu pada bus Cempaka 150 kV dan bus Bandara. Bus Bandara mengalami perubahan tegangan dari 0,981731 p.u menjadi 0,967496 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 45,527499 detik dengan tegangan 0,983575 p.u. Pada bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan tegangan dari 0,989253 p.u menjadi 0,973261 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 45,527499 detik dengan tegangan 0,970855 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi

masih diperkenankan. Respon tegangan bus 150 kV saat PLTU Kalselteng Cempaka 40 MW *trip* dapat dilihat pada Gambar 4.41.

Respon frekuensi saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Bandara dan bus Cempaka 150 kV. Pada bus Bandara dan bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,989832 Hz hingga mencapai 49,975593 Hz pada 0,614167 dan kembali *steady state* pada waktu 29,587499 detik dengan frekuensi 49,913245 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi saat PLTU Cempaka 400 MW(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.42.

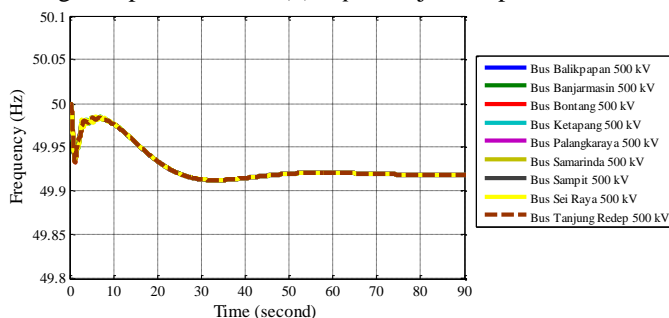


**Gambar 4.42** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*



**Gambar 4.43** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*

Respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,997707 p.u menjadi 0,993269 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,993146 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,010572 p.u menjadi 1,002075 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 1,001367 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,988643 p.u menjadi 0,985589 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,986079 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,015312 p.u menjadi 1,011626 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 1,013563 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,000486 p.u menjadi 0,994094 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,994847 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,991464 p.u menjadi 0,987882 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,987939 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,005092 p.u menjadi 0,999676 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 1,000892 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,005513 p.u menjadi 1,002674 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 1,004363 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,988173 p.u menjadi 0,985266 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,985806 p.u. Respon tegangan 500 kV saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.43.



**Gambar 4.44** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*

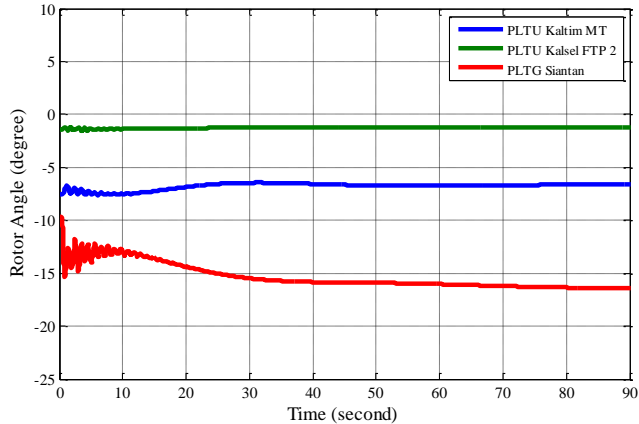
Respon frekuensi saat generator PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,995 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 43,870832 detik dengan frekuensi 49,917876 Hz. Respon frekuensi bus 500 kV saat PLTU Kalselteng Cempaka 400 MW(1) ditunjukkan pada Gambar 4.44.

#### **4.2.12 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 Generator outage pada LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 2032 ( $t=0,2$ )**

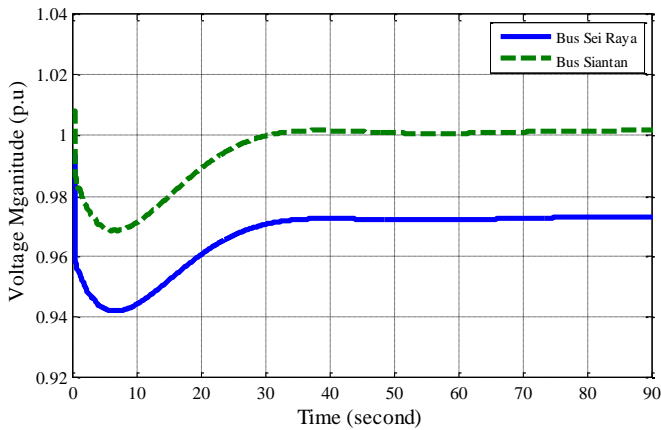
Kasus dari generator LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip*, kapasitas daya dari masing-masing generator adalah 100 MW dengan daya yang dibangkitkan masing-masing sebesar 78 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2032 sebesar 5187 MW dengan total beban 5182,177668 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 156 MW atau 3%. Pada Gambar 4.45, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTG Siantan, PLTU Kalselteng FTP 2, dan PLTU Kaltim MT. Generator PLTG Siantan mengalami perubahan sudut rotor -9,70912 *degree* menjadi -9,711768 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 30,014166 detik dengan sudut rotor -15,520351 *degree*. Pada generator PLTU Kalsel FTP 2 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -1,436219 *degree* menjadi -1,436197 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 7,524167 detik dengan sudut -1,399808 *degree*. Pada PLTU Kaltim MT mengalami perubahan sudut rotor yaitu -7,544328 *degree* menjadi -7,544296 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 6,010833 detik -7,596671 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

Pada Gambar 4.46, Respon tegangan pada bus 150 kV saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* yaitu pada bus Sei Raya dan bus Siantan. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,993343 p.u menjadi 0,977615 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 34,644166 detik dengan tegangan 0,972345 p.u. Pada bus Siantan mengalami perubahan tegangan dari 1,008167 p.u menjadi 0,999713 p.u dan kembali *steady*

state pada waktu 34,674166 detik dengan tegangan 1,00153 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

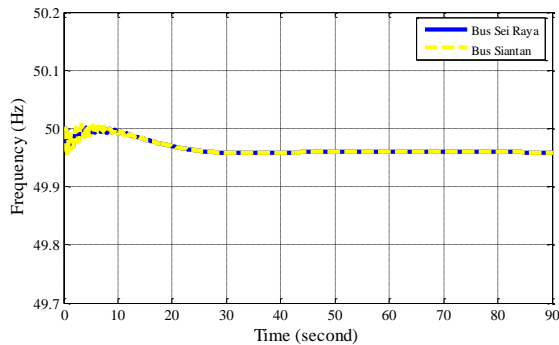


**Gambar 4.45** Respon Sudut Rotor Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 Trip

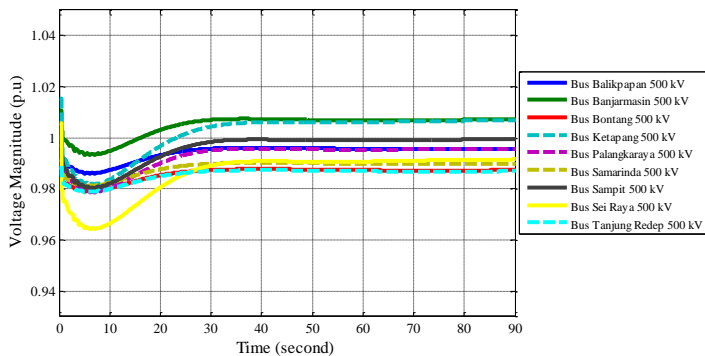


**Gambar 4.46** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 Trip

Respon frekuensi saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Sei Raya dan bus Siantan. Pada bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 49,990998 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 25,010833 detik dengan frekuensi 49,960838 Hz. Pada bus Siantan mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 49,989415 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 25,010833 detik dengan frekuensi 49,960838 Hz . Perubahan frekuensi pada saat generator LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* masih diperkanankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.47.

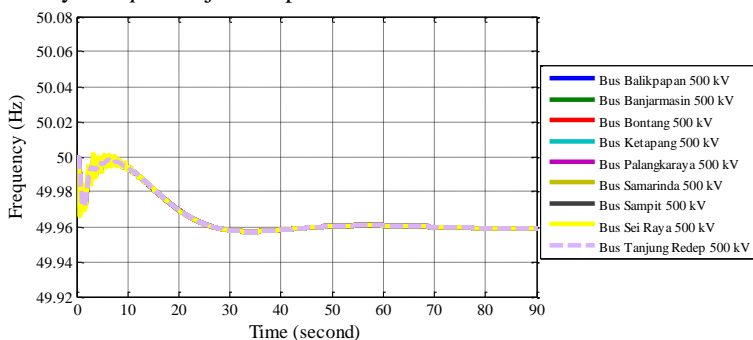


**Gambar 4.47** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *Trip*



**Gambar 4.48** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *Trip*

Respon tegangan yang terjadi saat generator LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,997707 p.u menjadi 0,996362 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,995911 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,010572 p.u menjadi 1,007961 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 1,007237 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,988643 p.u menjadi 0,987727 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,987544 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,015312 p.u menjadi 1,007773 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 1,005026 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,000486 p.u menjadi 0,996662 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,995412 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,991464 p.u menjadi 0,990386 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,989996 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,005092 p.u menjadi 1,000396 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,998803 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,005513 p.u menjadi 0,994673 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,207499 detik dengan tegangan 0,989777 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,988173 p.u menjadi 0,987302 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,280833 detik dengan tegangan 0,987141 p.u. Respon tegangan 500 kV saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.48.



**Gambar 4.49** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *Trip*

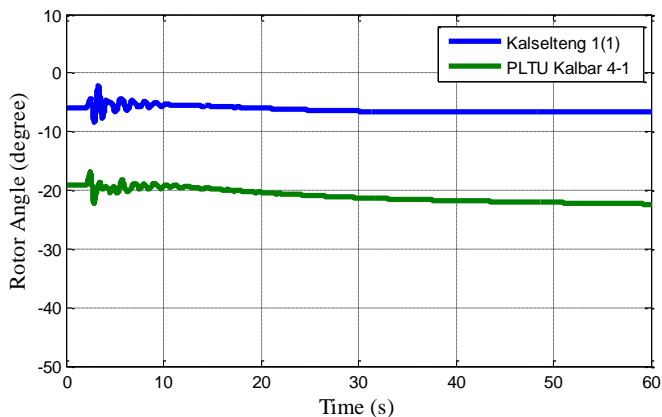


Respon frekuensi saat generator LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,999 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 43,870832 detik dengan frekuensi 49,958491 Hz. Respon frekuensi bus 500 kV saat LNG Sei Raya1 dan LNG Sei Raya2 ditunjukkan pada Gambar 4.49.

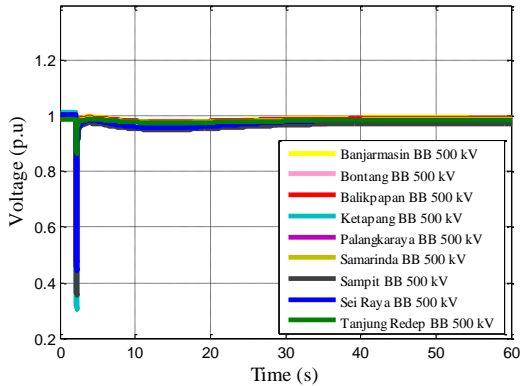
#### 4.2.13 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 *Short Circuit* Satu

##### Saluran *Double Circuit* Ketapang-Sampit Tahun 2032 ( $t=2s$ )

Pada kasus 3 yaitu *short circuit* satu saluran *double circuit* pada saluran Ketapang-Sampit. Respon sudut rotor pada generator Kalselteng 1(1) dan PLTU Kalbar 4-1 yang merupakan generator yang terdekat dengan bus Ketapang dan Sampit. Pada PLTU Kalselteng 1(1) mengalami perubahan sudut dari -6,023803 *degree* menjadi -6,022155 *degree* pada waktu 9,875833 detik dan kembali *steady state* pada waktu 10,666166 detik dengan sudut -5,461285 *degree*. Pada generator PLTU Kalbar 4-1 mengalami perubahan sudut rotor dari -19,219309 *degree* menjadi -19,216876 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 12,5195 detik dengan sudut -19,53836 *degree*. Respon sudut rotor untuk kasus *short circuit* satu saluran *double circuit* Ketapang-Sampit ditunjukkan pada Gambar 4.50.



**Gambar 4.50** Respon Sudut Rotor Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Ketapang-Sampit

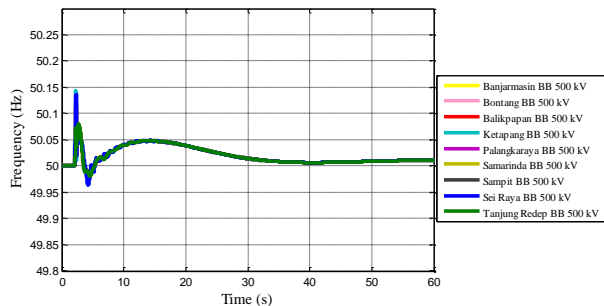


**Gambar 4.51** Respon Tegangan Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Ketapang-Sampit

Pada Gambar 4.51, respon tegangan yang diamati saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Ketapang-Sampit adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Respon tegangan pada Bus Balikpapan dari 1,010572 p.u menjadi 0,842387 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2795 detik dengan tegangan 0,9842 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,988643 p.u menjadi 0,932838 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2995 detik dengan tegangan 0,97922 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,997707 p.u menjadi 0,913777 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2995 detik dengan tegangan 0,984055 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,015312 p.u menjadi 0,673763 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,966797 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 1,000486 p.u menjadi 0,748296 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,962103 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,991464 p.u menjadi 0,925366 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,980614 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 1,005092 p.u menjadi 0,690772 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,95794 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 1,005513 p.u menjadi 0,741898 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,966562 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,988173 p.u menjadi 0,935269 p.u

dan kembali *steady state* pada waktu 21,2895 detik dengan tegangan 0,979204 p.u.

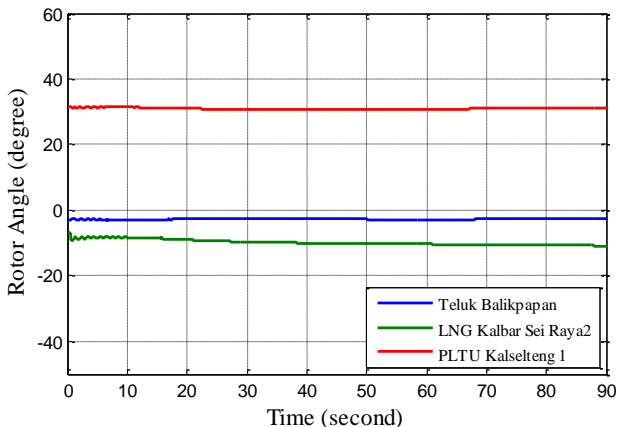
Respon frekuensi yang dijadikan parameter saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Bontang-Tanjung Redep adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Pada Gambar 4.52, respon frekuensi pada bus Balikpapan dari 50 Hz menjadi 50,025322 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Banjarmasin mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,015945 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Pada bus Bontang mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,018263 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Ketapang mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,046816 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Palangkaraya mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,0313 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Samarinda mengalami perubahan frekuensi 50 Hz menjadi 50,016652 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Sampit mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,035678 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,040363 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,015629 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,429499 detik dengan frekuensi 50,0133 Hz.



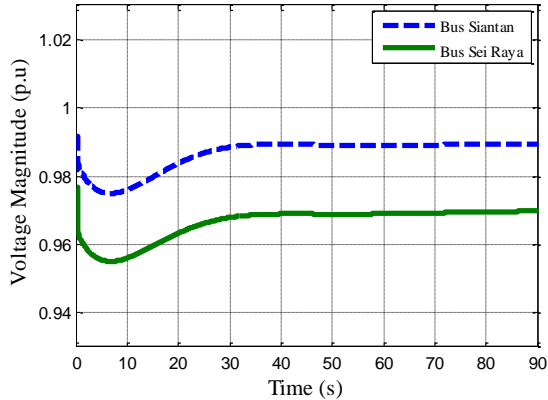
**Gambar 4.52** Respon Frekuensi Gangguan *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Ketapang-Sampit

#### 4.2.14 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Gangguan Generator Outage pada LNG Sei Raya1 Tahun 2035 ( $t=0,2s$ )

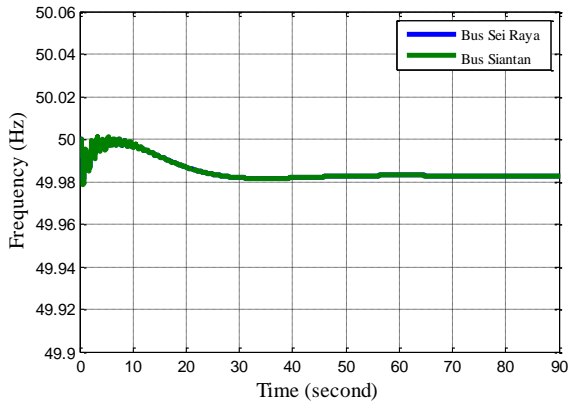
Saat generator LNG Sei Raya1 *trip*, kapasitas daya dari generator tersebut adalah 100 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 78 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2035 sebesar 6198 MW dengan total beban 6196,170998 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 1,25%. Pada Gambar 4.53, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kalselteng 1, LNG Kalbar Sei Raya2, dan Teluk Balikpapan. Generator PLTU Kalselteng 1 mengalami perubahan sudut rotor 31,679226 *degree* menjadi 31,014858 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 6,744167 detik dengan sudut rotor 31,424293 *degree*. Pada generator LNG Kalbar Sei Raya2 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -6,886543 *degree* menjadi -9,333999 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 7,264167 detik dengan sudut -8,18879 *degree*. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu -2,910928 *degree* menjadi -2,595137 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 6,100833 detik -2,895011 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator LNG Sei Raya1 sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.



**Gambar 4.53** Respon Sudut Rotor 3 Generator Saat LNG Sei Raya1 Trip



**Gambar 4.54** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 *Trip*

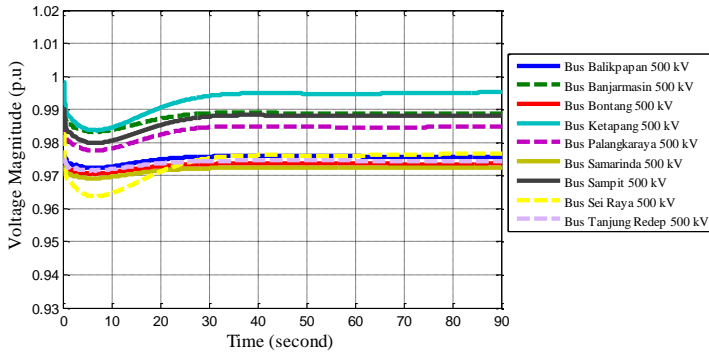


**Gambar 4.55** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat LNG Sei Raya1 *Trip*

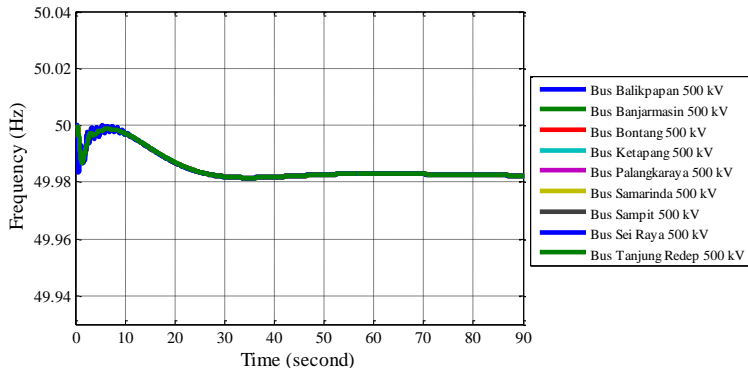
Respon tegangan bus 150 kV saat LNG Sei Raya1 *trip* ditunjukkan pada **Gambar 4.54**. Respon tegangan pada bus 150 kV saat LNG Sei Raya1 *trip* yaitu pada bus Siantan dan bus Sei Raya. Bus Siantan mengalami perubahan tegangan dari 0,991493 p.u menjadi 0,988266 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 33,150833 detik dengan tegangan 0,9891 p.u. Pada bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,976866 p.u menjadi 0,970749 p.u dan kembali *steady state* pada waktu

33,460833 detik dengan tegangan 0,9686 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

Pada Gambar 4.55, respon frekuensi saat LNG Sei Raya1 *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Siantan dan bus Sei Raya. Pada bus Siantan dan bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,995 Hz hingga mencapai 49,98 Hz pada 0,544167 detik dan kembali *steady state* pada waktu 28,330833 detik dengan frekuensi 49,982091 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator LNG Sei Raya1 *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.



Gambar 4.56 Respon Tegangan Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 Trip



Gambar 4.57 Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat LNG Sei Raya1 Trip

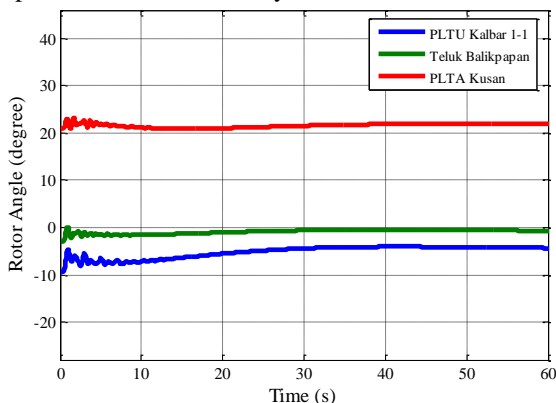
Pada Gambar 4.56, Respon tegangan yang terjadi saat generator LNG Sei Raya1 *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,97654 p.u menjadi 0,976155 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,310833 detik dengan tegangan 0,975742 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,989752 p.u menjadi 0,988916 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 25,574166 detik dengan tegangan 0,988455 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,974033 p.u menjadi 0,973787 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,594166 detik dengan tegangan 0,986079 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,998386 p.u menjadi 0,995285 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,754166 detik dengan tegangan 0,99418 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,98618 p.u menjadi 0,984847 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,137499 detik dengan tegangan 0,98437 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,972932 p.u menjadi 0,972633 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 21,120833 detik dengan tegangan 0,97167 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,990085 p.u menjadi 0,988324 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,944166 detik dengan tegangan 0,98793 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,982373 p.u menjadi 0,977661 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 33,500833 detik dengan tegangan 0,97586 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,974907 p.u menjadi 0,974675 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,124166 detik dengan tegangan 0,974257 p.u.

Pada Gambar 4.57, respon frekuensi saat generator LNG Sei Raya1 *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,999 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,524166 detik dengan frekuensi 49,981726 Hz.

#### **4.2.15 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 Gangguan Generator Outage pada PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) Tahun 2035 ( $t=0,2s$ )**

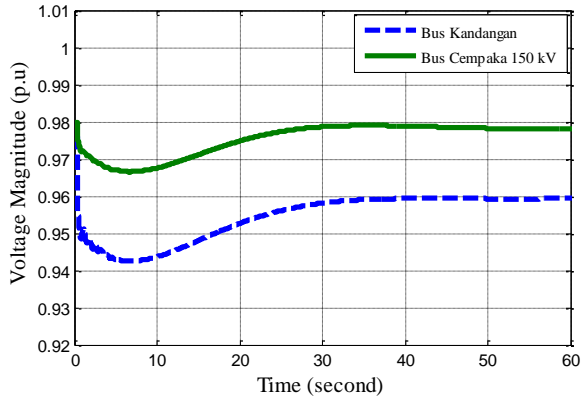
Saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip*, kapasitas daya dari masing-masing generator tersebut adalah 100 MW dengan daya yang dibangkitkan masing-masing sebesar 78 MW dan 80 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2035 sebesar 6198 MW dengan total beban 6196,170998 MW. Dengan melihat

keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 158 MW atau 2,5%. Pada Gambar 4.58, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kalbar 1-1, PLTA Kusan, dan Teluk Balikpapan. Generator PLTU Kalbar 1-1 mengalami perubahan sudut rotor  $-9,259373$  degree menjadi  $-9,258519$  degree hingga mencapai  $-4,654991$  degree pada waktu 0,840833 dan kembali *steady state* pada waktu 27,597499 detik dengan sudut rotor  $-4,527614$  degree. Pada generator PLTA Kusan mengalami perubahan sudut rotor yaitu  $20,870504$  degree menjadi  $20,871007$  degree hingga mencapai  $22,991488$  degree pada waktu 0,744167 detik dan kembali *steady state* pada waktu 9,940833 detik dengan sudut  $21,130899$  degree. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu  $-2,910928$  degree menjadi  $-2,910221$  degree hingga mencapai  $0,190813$  degree pada waktu 0,794167 detik dan kembali *steady state* pada waktu 9,0175 detik  $-1,500897$  degree. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

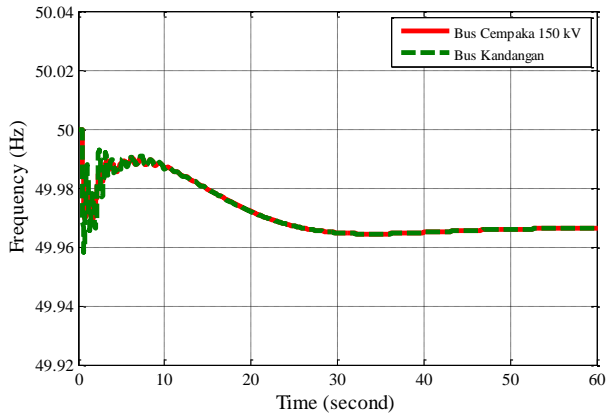


**Gambar 4.58** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) Trip





**Gambar 4.59** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*



**Gambar 4.60** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*

Pada Gambar 4.59, Respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* yaitu pada bus Kandangan dan bus Cempaka 150 kV. Bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan tegangan dari 0,97991 p.u menjadi 0,977683 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,857499 detik dengan tegangan 0,97859 p.u. Pada bus Kandangan mengalami perubahan tegangan dari 0,9759 p.u menjadi

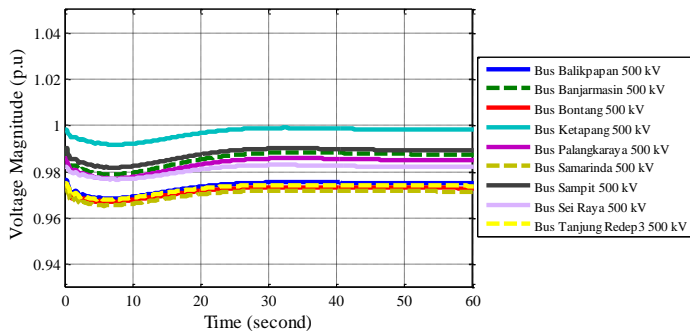
0,9658 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,180833 detik dengan tegangan 0,95813 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

Respon frekuensi PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Kandangan dan bus Cempaka 150 kV. Pada bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 49,995436 Hz hingga mencapai 49,969813 pada waktu 0,634167 detik dan kembali *steady state* pada waktu 27,857499 detik dengan frekuensi 49,965181 Hz. Pada bus Kandangan mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 49,990683 Hz hingga mencapai 49,970007 Hz pada waktu 0,674167 detik dan kembali *steady state* pada waktu 27,857499 detik dengan frekuensi 49,965159 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.60.

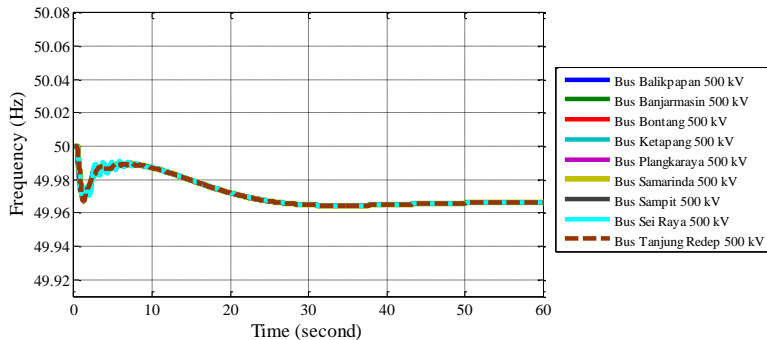
Pada Gambar 4.61, respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,97654 p.u menjadi 0,975832 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,077499 detik dengan tegangan 0,97482 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,989752 p.u menjadi 0,988298 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,047499 detik dengan tegangan 0,9872 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,974033 p.u menjadi 0,973566 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,017499 detik dengan tegangan 0,97285 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,998386 p.u menjadi 0,997882 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,257499 detik dengan tegangan 0,99876 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,98618 p.u menjadi 0,985186 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,217499 detik dengan tegangan 0,98553 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,972932 p.u menjadi 0,972369 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,577499 detik dengan tegangan 0,97179 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,990085 p.u menjadi 0,989267 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 25,26083 detik dengan tegangan 0,98949 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,982373 p.u menjadi

0,982012 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,137499 detik dengan tegangan 0,98236 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,974907 p.u menjadi 0,974468 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,440833 detik dengan tegangan 0,97387 p.u.

Pada Gambar 4.62, Respon frekuensi saat generator PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,998 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 24,430833 detik dengan frekuensi 49,96696 Hz.



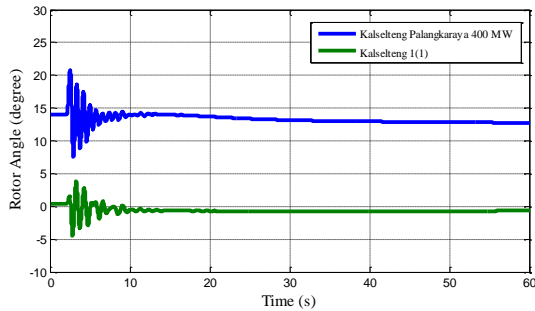
**Gambar 4.61** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*



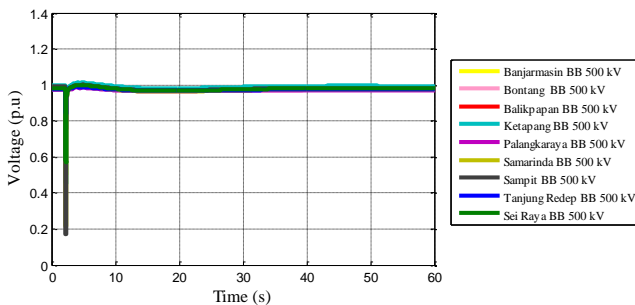
**Gambar 4.62** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalsel FTP 2 dan PLTU Kalsel FTP 2(1) *Trip*

#### 4.2.16 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 *Short Circuit* Satu Saluran *Double Circuit* Sampit-Palangkaraya Tahun 2035 ( $t=2s$ )

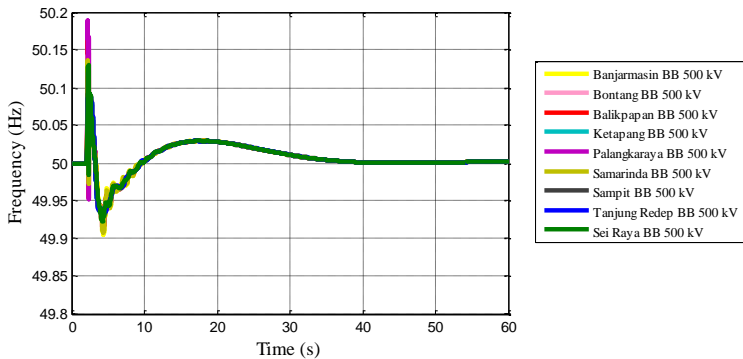
Pada kasus 3 yaitu *short circuit* satu saluran *double circuit* pada saluran Sampit-Palangkaraya. Pada Gambar 4.63, Respon sudut rotor pada generator Kalselteng 1(1) dan Kalselteng Palangkaraya 400 MW yang merupakan generator yang terdekat dengan bus Sampit dan Palangkaraya. Pada Kalselteng 1(1) mengalami perubahan sudut dari 0,410238 *degree* menjadi 0,411683 *degree* pada waktu 13,620833 detik dan kembali *steady state* pada waktu -0,717391 detik dengan sudut -5,461285 *degree*. Pada generator Kalselteng Palangkaraya 400 MW mengalami perubahan sudut rotor dari 13,967246 *degree* menjadi 13,976101 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 11,810833 detik dengan sudut 14,051218 *degree*.



**Gambar 4.63** Respon Sudut Rotor Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Sampit-Palangkaraya



**Gambar 4.64** Respon Tegangan Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Sampit-Palangkaraya



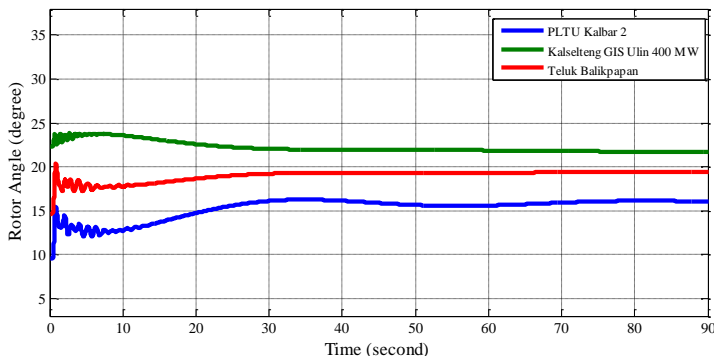
**Gambar 4.65** Respon Frekuensi Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Sampit-Palangkaraya

Pada Gambar 4.64, respon tegangan yang diamati saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Sampit-Palangkaraya adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Respon tegangan pada Bus Balikpapan dari 0,989752 p.u menjadi 0,756931 p.u hingga mencapai 0,501628 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,989606 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,974033 p.u menjadi 0,911388 p.u hingga mencapai 0,83163 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,9774 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,97654 p.u menjadi 0,87522 p.u hingga mencapai 0,755245 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,979045 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,998386 p.u menjadi 0,74258 p.u hingga mencapai 0,450958 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 1,000129 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,98618 p.u menjadi 0,608539 p.u hingga mencapai 0,214217 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,981251 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,972932 p.u menjadi 0,896415 p.u hingga mencapai 0,802673 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833detik dengan tegangan 0,975694 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,990085 p.u menjadi 0,588053 p.u hingga mencapai 0,169298 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,987229 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan

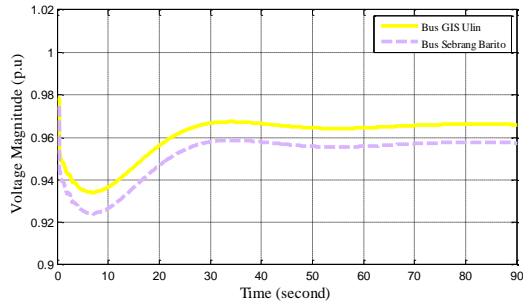
tegangan dari 0,974907 p.u menjadi 0,916244 p.u hingga mencapai 0,840659 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,978388 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan dari 0,982373 p.u menjadi 0,79634 p.u hingga mencapai 0,573097 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 7,980833 detik dengan tegangan 0,986067 p.u.

Respon frekuensi yang diamati saat *short circuit* satu saluran *double circuit* Sampit-Palangkaraya adalah bus 500 kV pada *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan 500 kV. Pada Gambar 4.65, respon frekuensi pada bus Balikpapan dari 50 Hz menjadi 50,126954 Hz. Bus Banjarmasin mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,071047 Hz. Pada bus Bontang mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,081454 Hz. Bus Ketapang mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,135692 Hz. Bus Palangkaraya mengalami perubahan frekuensi yaitu 50 Hz menjadi 50,189497 Hz. Bus Samarinda mengalami perubahan frekuensi 50 Hz menjadi 50,074212 Hz. Bus Sampit mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,172947 Hz. Bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,069691 Hz. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,114664 Hz. Semua bus yang diamati kembali *steady state* pada waktu 33,410833 detik dengan frekuensi 50,005 Hz.

#### 4.2.17 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 *Generator Outage* pada PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Tahun 2040 ( $t=0,2s$ )



**Gambar 4.66** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*



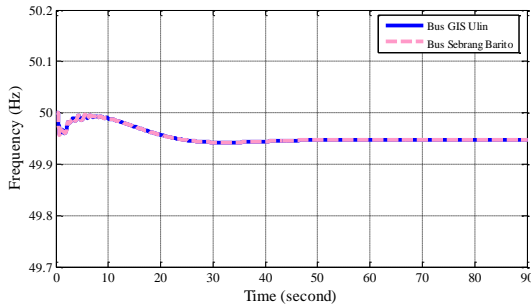
**Gambar 4.67** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Trip

Saat generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip*, kapasitas daya dari generator tersebut adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 300 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2040 sebesar 8351 MW dengan total beban 8208,649679 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 3,5%. Pada Gambar 4.66, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kalbar 2, Kalselteng GIS Ulin 400 MW, dan Teluk Balikpapan. Generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor 9,504829 *degree* menjadi 9,507485 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 29,157499 detik dengan sudut rotor 16,120152 *degree*. Pada generator Kalselteng GIS Ulin 400 MW mengalami perubahan sudut rotor yaitu 22,342065 *degree* menjadi 22,3431 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 31,244166 detik dengan sudut 22,010055 *degree*. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu 14,666007 *degree* menjadi 14,668566 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 29,877499 detik 19,243004 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

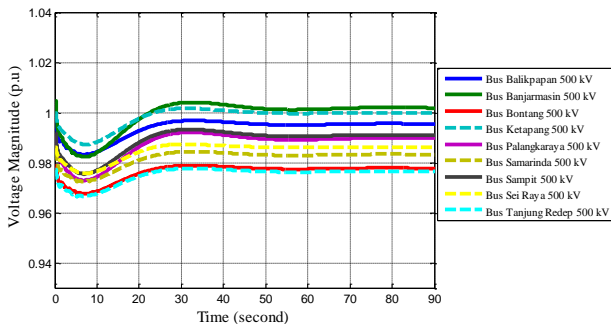
Pada Gambar 4.67, respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* yaitu pada bus GIS Ulin dan bus Sebrang Barito. Bus Gis Ulin mengalami perubahan tegangan dari 0,978438 p.u menjadi 0,967069 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,464166 detik dengan tegangan 0,96725 p.u. Pada bus Sebrang Barito mengalami

perubahan tegangan dari 0,974023 p.u menjadi 0,960788 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 31,424166 detik dengan tegangan 0,95856 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

Pada Gambar 4.68, respon frekuensi saat saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* pada bus 150 kV yaitu bus GIS Ulin dan bus Sebrang Barito. Pada bus GIS Ulin dan bus Sebrang Barito mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 25,557499 detik dengan frekuensi 49,95 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.

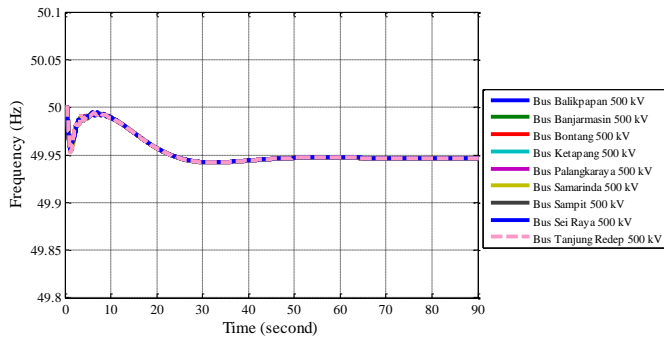


**Gambar 4.68** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*



**Gambar 4.69** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*





**Gambar 4.70** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Trip

Pada Gambar 4.69, Respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,997095 p.u menjadi 0,995461 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,996626 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,004668 p.u menjadi 1,000973 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 1,003821 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,978643 p.u menjadi 0,977609 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,978721 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,999781 p.u menjadi 0,998548 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 1,001612 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,990771 p.u menjadi 0,988295 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,991918 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,984579 p.u menjadi 0,98332 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,984257 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,991548 p.u menjadi 0,989525 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,993127 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,986074 p.u menjadi 0,985216 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,01417 detik dengan tegangan 0,987321 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,977402 p.u menjadi

0,976433 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,977558 p.u.

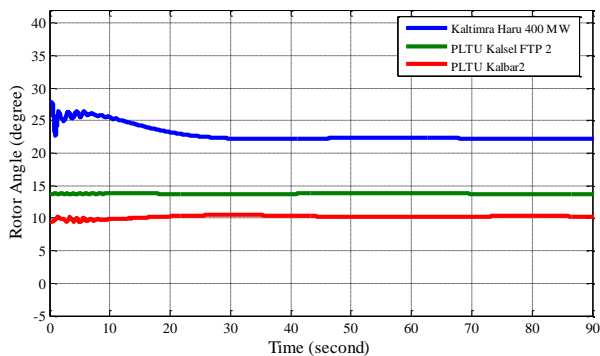
Respon frekuensi saat generator LNG Sei Raya1 *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,999 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 30,524166 detik dengan frekuensi 49,981726 Hz. Respon frekuensi bus 500 kV saat generator LNG Sei Raya1 *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.70.

#### **4.2.18 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 Generator Outage pada PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Tahun 2040 ( $t=0,2s$ )**

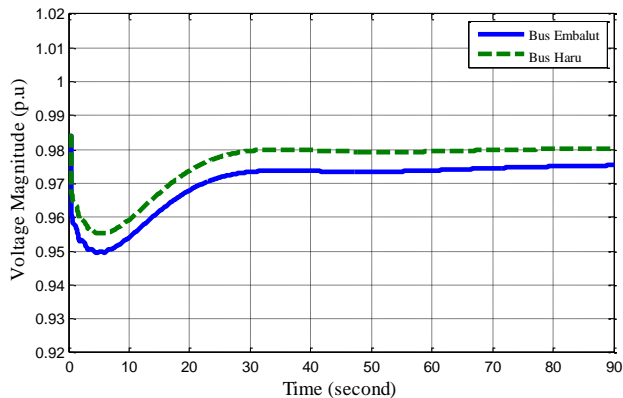
Saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip*, kapasitas daya dari masing-masing generator tersebut adalah 100 MW dengan daya yang dibangkitkan masing-masing generator sebesar 78 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2040 sebesar 8351 MW dengan total beban 8208,649679 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 156 MW atau 1,86%. Pada Gambar 4.71, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kalbar 2, PLTU Kalsel FTP 2, dan Kaltimra Haru 400 MW. Generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor 9,504829 *degree* menjadi 10,193726 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 7,304167 detik dengan sudut 9,651072 *degree*. Pada generator PLTU Kalsel FTP 2 mengalami perubahan sudut rotor yaitu 13,717885 *degree* menjadi 13,835721 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 9,1675 detik dengan sudut 13,797024 *degree*. Pada Kaltimra Haru 400 MW mengalami perubahan sudut rotor yaitu 27,829856 *degree* menjadi 22,633809 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 25,990833 detik 22,440376 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

Pada Gambar 4.72, respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* yaitu pada bus Embalut dan bus Haru. Bus Embalut mengalami perubahan tegangan dari 0,983888 p.u menjadi 0,974754 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,0075 detik

dengan tegangan 0,9731 p.u. Pada bus Haru mengalami perubahan tegangan dari 0,984146 p.u menjadi 0,977845 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,967499 detik dengan tegangan 0,97927 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

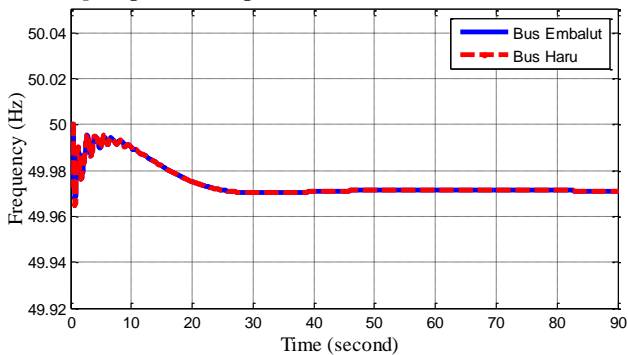


**Gambar 4.71** Respon Sudut Rotor 3 Generator Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *Trip*

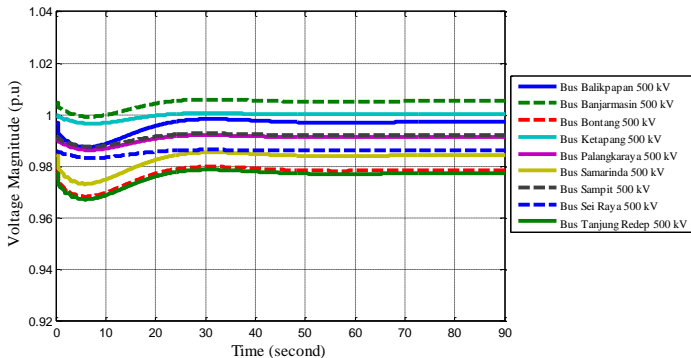


**Gambar 4.72** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *Trip*

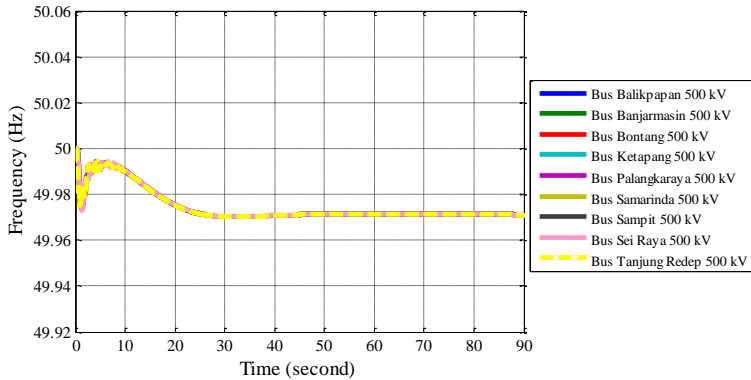
Respon frekuensi saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Embalut dan bus Haru. Pada bus Embalut yaitu 50 Hz menjadi 49,968017 Hz. Pada bus Haru yaitu 50 Hz menjadi 49,964759 Hz. Kedua bus 150 kV kembali *steady state* pada waktu 25,250833 dengan frekuensi 49,971 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* masih diperkanankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002. Respon frekuensi pada bus 150 kV saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* dapat dilihat pada Gambar 4.73.



**Gambar 4.73** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *Trip*



**Gambar 4.74** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *Trip*



**Gambar 4.75** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) Trip

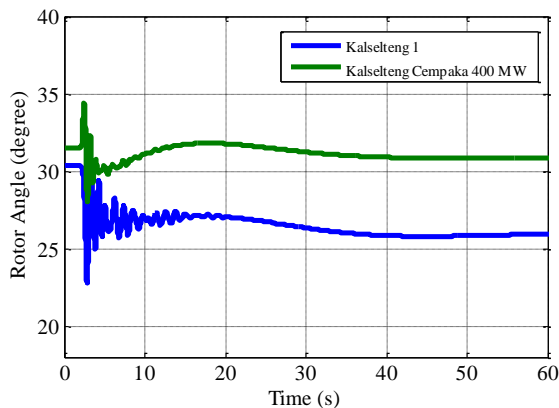
Pada Gambar 4.74, Respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,997095 p.u menjadi 0,995546 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,997649 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 1,004668 p.u menjadi 1,004066 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 1,005575 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,978643 p.u menjadi 0,977011 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,979209 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,999781 p.u menjadi 0,999584 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 1,000452 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,990771 p.u menjadi 0,990371 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,991823 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,984579 p.u menjadi 0,982593 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,98466 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,991548 p.u menjadi 0,991222 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,992564 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,986074 p.u menjadi 0,985938 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,986313 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,977402 p.u

menjadi 0,975871 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,347499 detik dengan tegangan 0,978091 p.u.

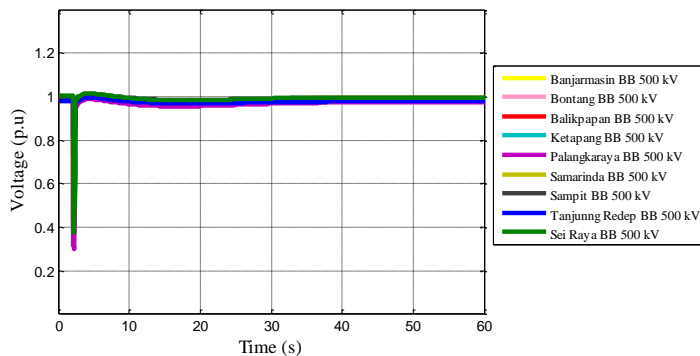
Respon frekuensi saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,94 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 28 detik dengan frekuensi 49,95 Hz. Respon frekuensi bus 500 kV saat generator PLTU Kaltim 4 dan PLTU Kaltim 4(1) *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.75.

#### 4.2.19 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 *Short Circuit* pada Satu Saluran *Double Circuit* Palangkaraya-Banjarmasin Tahun 2040 ( $t=2s$ )

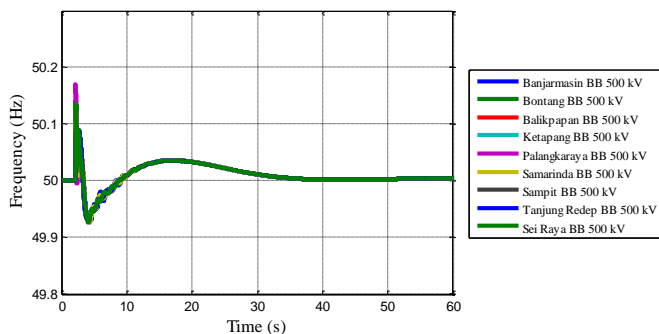
Respon sudut rotor saat satu saluran *Double Circuit* Palangkaraya-Banjarmasin mengalami gangguan *short circuit* 3 fasa mengalami perubahan pada generator Kalselteng 1 dan Kalselteng Cempaka 400 MW. Perubahan sudut rotor pada Kalselteng 1 dari 30,343866 *degree* menjadi 29,8298 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 36,364166 sekon dengan sudut rotor 25,945912 *degree*. Pada generator Kalselteng Cempaka 400 MW mengalami perubahan dari 31,488587 *degree* menjadi 33,246447 *degree* dan kembali *steady state* dengan sudut rotor 30,896953 *degree* pada waktu 40,024166 sekon. Respon sudut rotor dapat dilihat pada Gambar 4.76.



**Gambar 4.76** Respon Sudut Rotor Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Palangkaraya-Banjarmasin



**Gambar 4.77** Respon Tegangan Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Palangkaraya-Banjarmasin



**Gambar 4.78** Respon Frekuensi Saat Lepas Satu Saluran *Double Circuit* Palangkaraya-Banjarmasin

Pada Gambar 4.77, merupakan respon tegangan saat lepas satu saluran *double circuit* Palangkaraya-Banjarmasin. Dengan perubahan tegangan tertinggi pada bus Palangkaraya yaitu dari 0,990771 p.u menjadi 0,657565 p.u. Perubahan tegangan paling rendah terjadi pada bus Tanjung Redep dengan perubahan tegangan sebesar 0,977402 p.u menjadi 0,903557 p.u. Perubahan terjadi pada detik ke-2,0025 sesaat setelah terjadinya gangguan *short circuit*.

Analisis respon frekuensi saat gangguan *short circuit* pada lepas satu saluran *double circuit* Palangkaraya-Banjarmasin yaitu pada bus 500

kV yang memiliki perubahan frekuensi tertinggi terjadi pada bus Palangkaraya dengan perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,09248 Hz pada waktu 2,018333 sekon. Perubahan frekuensi tersebut juga terjadi pada bus *backbone* 500 kV yang lain yaitu bus Banjarmasin, Samarinda, Ketapang, Palangkaraya, Sampit, Tanjung Redep, Bontang, dan Sei Raya. Sistem kembali *steady state* pada waktu 37,894166 sekon pada frekuensi 50,03 Hz dan masih dalam batas aman. Hasil simulai dapat dilihat pada Gambar 4.78.

#### **4.2.20 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 1 Generator Outage pada PLTU Kalbar Cemara 400 MW Tahun 2045 ( $t=0,2s$ )**

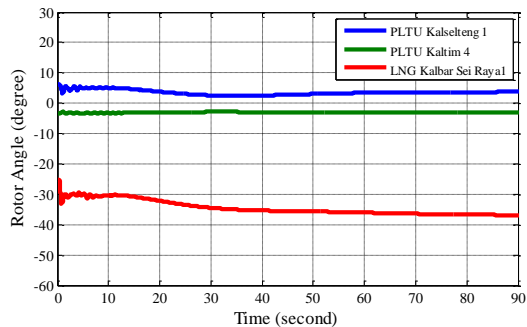
Saat generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip*, kapasitas daya dari generator tersebut adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 250 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2045 sebesar 10744 MW dengan total beban 10743,88295 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 2,3%. Pada Gambar 4.79, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator Generator PLTU Kalselteng 1, PLTU Kaltim 4, dan LNG Kalbar Sei Raya1. Generator PLTU Kalselteng 1 mengalami perubahan sudut rotor 6,194024 *degree* menjadi 6,193883 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 27,645833 detik dengan sudut rotor 2,701703 *degree*. Pada generator PLTU Kaltim 4 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -3,334321 *degree* menjadi -3,33432 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 2,390833 detik dengan sudut -3,017589 *degree*. Pada LNG Kalbar Sei Raya1 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -25,35173 *degree* menjadi -25,356098 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 36,199166 detik -35,227037 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

Pada Gambar 4.80, respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* yaitu pada bus Cemara dan bus Sei Raya. Bus Cemara mengalami perubahan tegangan dari 0,992217 p.u menjadi 0,971852 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 48,212499 detik dengan tegangan 0,962695 p.u. Pada bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,979826 p.u menjadi 0,966423 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 48,212499 detik dengan tegangan 0,963683 p.u.

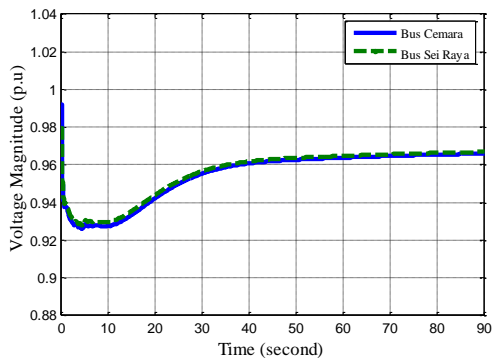


Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.

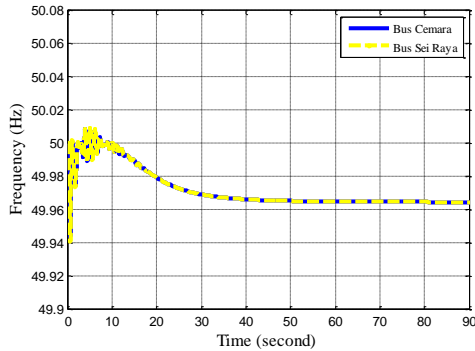
Pada Gambar 4.81, respon frekuensi saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Cemara dan bus Sei Raya. Pada bus Cemara dan bus Sei Raya mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,98 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 29,212499 detik dengan frekuensi 49,96931 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.



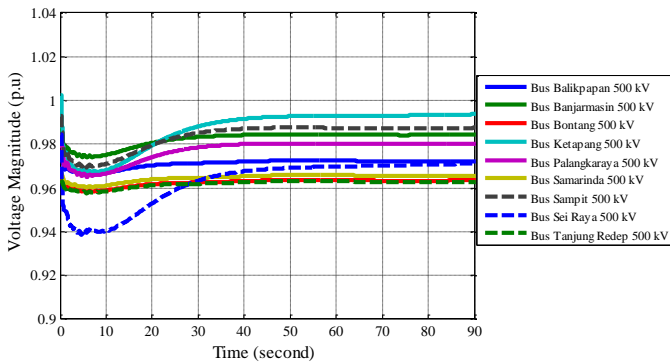
**Gambar 4.79** Respon Sudut Rotor Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *Trip*



**Gambar 4.80** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *Trip*



**Gambar 4.81** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW Trip

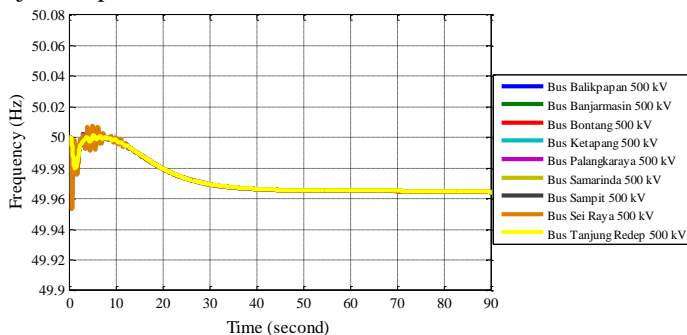


**Gambar 4.82** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW Trip

Pada Gambar 4.82, Respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW trip. Bus yang diamati merupakan bus backbone 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,974362 p.u menjadi 0,97375 p.u dan kembali steady state pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,972293 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,987803 p.u menjadi 0,986321 p.u dan kembali steady state pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,984419 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,964462 p.u menjadi 0,964096 p.u dan kembali steady state pada waktu

29,014166 detik dengan tegangan 0,963417 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,002366 p.u menjadi 0,995636 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,99226 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,984634 p.u menjadi 0,982153 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,980274 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,967175 p.u menjadi 0,966721 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,96564 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,992987 p.u menjadi 0,989595 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,987413 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,984331 p.u menjadi 0,973928 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 42,872499 detik dengan tegangan 0,968491 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,963771 p.u menjadi 0,963428 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,014166 detik dengan tegangan 0,962834 p.u.

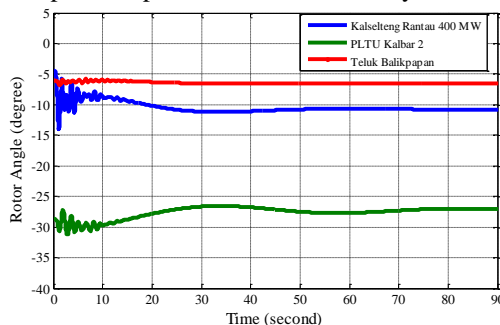
Respon frekuensi saat generator PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,999 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 29,272499 detik dengan frekuensi 49,969403 Hz. Respon frekuensi bus 500 kV saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *trip* ditunjukkan pada Gambar 4.83.



**Gambar 4.83** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalbar Cemara 400 MW *Trip*

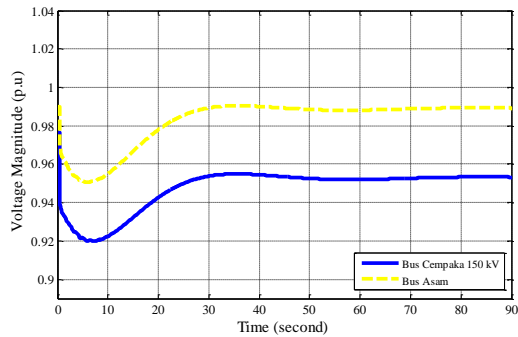
#### 4.2.21 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 2 *Generator Outage* pada Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) Tahun 2045 ( $t=0,2s$ )

Saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip*, kapasitas daya dari masing-masing generator tersebut adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan masing-masing generator sebesar 300 MW dan 320 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2045 sebesar 10744 MW dengan total beban 10743,88295 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 620 MW atau 5,7%. Pada Gambar 4.84, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator Kalselteng Rantau 400 MW, PLTU Kalbar 2, dan Teluk Balikpapan. Generator Kalselteng Rantau 400 MW mengalami perubahan sudut rotor -4,446648 *degree* menjadi -4,447713 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 26,437499 detik dengan sudut rotor -11,040264 *degree*. Pada generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -28,629746 *degree* menjadi -28,629814 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 44,559166 detik dengan sudut -27,302014 *degree*. Pada Teluk Balikpapan mengalami perubahan sudut rotor yaitu -6,000812 *degree* menjadi -6,000999 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 12,6075 detik -6,043822 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

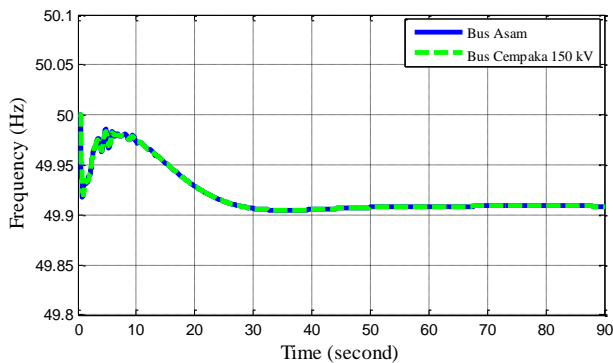


**Gambar 4.84** Respon Sudut Rotor Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*

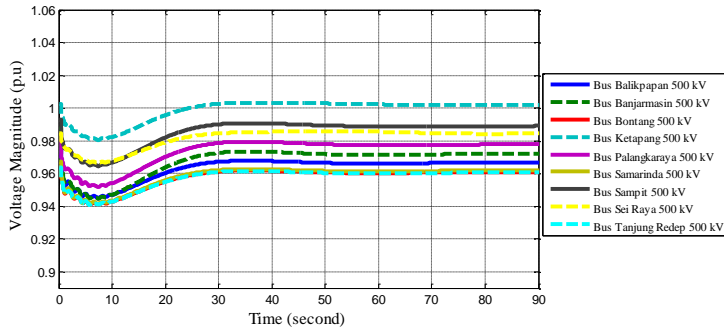
Pada Gambar 4.85, respon tegangan pada bus 150 kV saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* yaitu pada bus Cempaka 150 kV dan Asam. Bus Cempaka 150 kV mengalami perubahan tegangan dari 0,976696 p.u menjadi 0,959079 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,797499 detik dengan tegangan 0,954621 p.u. Pada bus Asam mengalami perubahan tegangan dari 0,990133 p.u menjadi 0,984017 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 29,860833 detik dengan tegangan 0,989939 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.



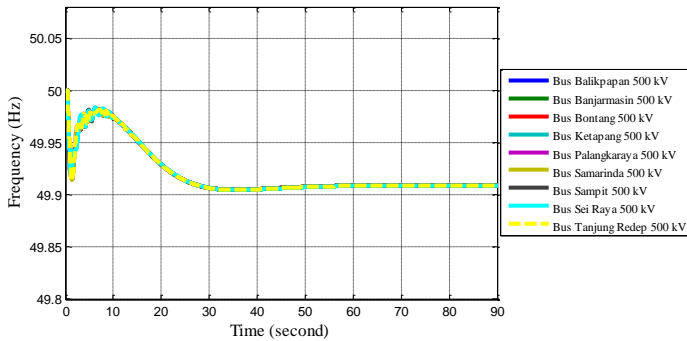
**Gambar 4.85** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*



**Gambar 4.86** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*



**Gambar 4.87** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *Trip*



**Gambar 4.88** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW (1) *Trip*

Pada Gambar 4.86, respon frekuensi saat saat Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Cempaka 150 kV dan bus Asam. Pada bus Cempaka 150 kV dan bus Asam mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,98 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 27,127499 detik dengan frekuensi 49,907643 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* masih diperkanankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.

Pada Gambar 4.87, Respon tegangan yang terjadi saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,974362 p.u menjadi 0,969783 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,966939 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,987803 p.u menjadi 0,977422 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,972353 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,964462 p.u menjadi 0,961696 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,960965 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 1,002366 p.u menjadi 0,99966 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 1,002365 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,984634 p.u menjadi 0,978421 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,978387 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,967175 p.u menjadi 0,963747 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,961862 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,992987 p.u menjadi 0,988285 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,989825 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,984331 p.u menjadi 0,982527 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,984322 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,963771 p.u menjadi 0,961178 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 27,674166 detik dengan tegangan 0,960698 p.u.

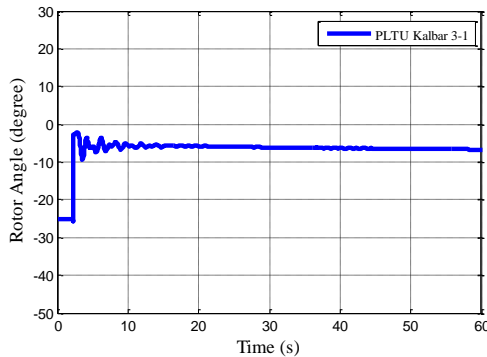
Pada Gambar 4.88, respon frekuensi saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 28,237499 detik dengan frekuensi 49,906 Hz.

#### **4.2.22 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan *Short Circuit* pada Bus Ketapang 500 kV Tahun 2045 ( $t=2s$ )**

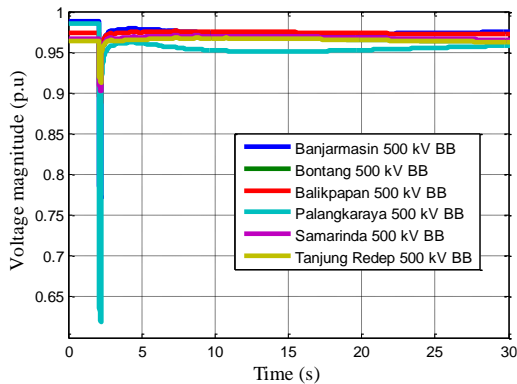
Pada Gambar 4.89, respon sudut rotor menunjukkan bahwa PLTU Kalbar 3-1 mengalami perubahan dari -25,063757 *degree* menjadi -2,705551 *degree*. Perubahan sudut rotor ini akan kembali *steady state* pada waktu 24,3525 detik dengan sudut rotor -6,000088 *degree*. Hasil

perubahan tersebut dapat dikategorikan bahwa sistem dapat kembali stabil.

Gangguan *short circuit* pada Bus Ketapang dapat dilihat pada Gambar 4.90 saat sistem mengalami perubahan respon tegangan pada masing-masing bus. Dengan perubahan tegangan tertinggi pada bus palangkaraya yaitu dari 0,987 p.u menjadi 0,812837 p.u pada detik ke-2,0025 dan kembali *steady state* pada 0,956 p.u detik ke-24,7. Sedangkan perubahan tegangan paling rendah terjadi pada bus Tanjung Redep dengan perubahan tegangan sebesar 0,963771 p.u menjadi 0,942622 p.u dan kembali *steady state* saat 0,964 pada detik ke-22.

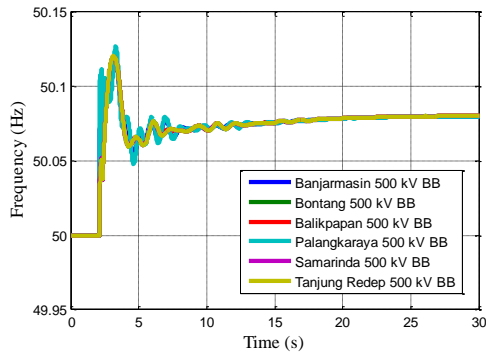


**Gambar 4.89** Respon Sudut Rotor pada Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Ketapang



**Gambar 4.90** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Ketapang





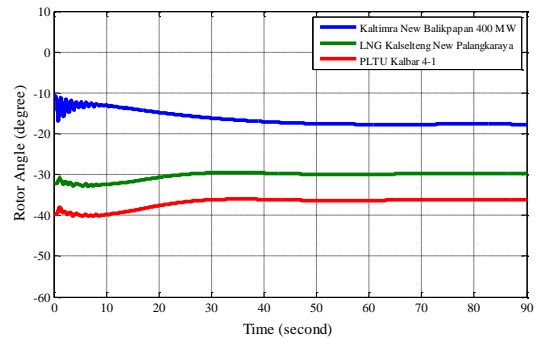
**Gambar 4.91** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Ketapang

Pada Gambar 4.91, analisis respon frekuensi saat gangguan *short circuit* pada bus Ketapang mengalami perubahan frekuensi pada sistem namun tidak terlalu besar. Perubahan frekuensi paling tinggi terjadi pada bus Palangkaraya dengan perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,0068 Hz pada detik ke-2,0247. Perubahan frekuensi tersebut juga terjadi pada bus *backbone* 500 kV yang lain yaitu bus Balikpapan, Bontang, Samarinda, Banjarmasin, Tanjung Redep, dan Bontang. Meskipun mengalami perubahan frekuensi namun sistem kembali *steady state* pada detik ke-24,4.

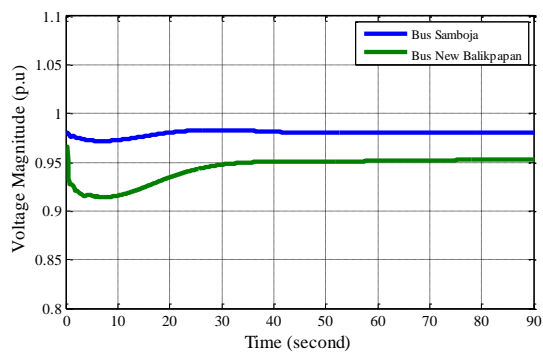
#### 4.2.23 Simulasi Kestabilan Kasus 1 *Generator Outage* pada Kaltimra Manggar 400 MW Tahun 2050 ( $t=0,2s$ )

Saat generator Kaltimra Manggar 400 MW *trip*, kapasitas daya dari generator tersebut adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan sebesar 300 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2050 sebesar 13995 MW dengan total beban 13956,89232 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya 2,1%. Pada Gambar 4.92, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator Kaltimra New Balikpapan 400 MW, LNG Kalselteng New Palangkaraya, dan PLTU Kalbar 4-1. Generator Kaltimra New Balikpapan 400 MW mengalami perubahan sudut rotor 6,194024 *degree* menjadi 6,193883 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 27,645833 detik dengan sudut rotor 2,701703 *degree*. Pada generator LNG

Kalselteng New Palangkaraya mengalami perubahan sudut rotor yaitu -3,334321 *degree* menjadi -3,33432 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 2,390833 detik dengan sudut -3,017589 *degree*. Pada PLTU Kalbar 4-1 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -25,35173 *degree* menjadi -25,356098 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 36,199166 detik -35,227037 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat generator Kaltimra Manggar 400 MW *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

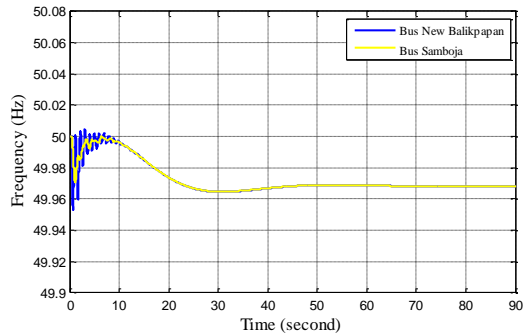


**Gambar 4.92** Respon Sudut Rotor Saat Kaltimra Manggar 400 MW Trip

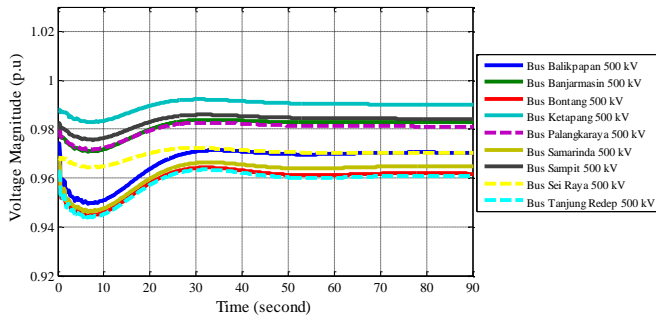


**Gambar 4.93** Respon Tegangan Bus 150 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW Trip

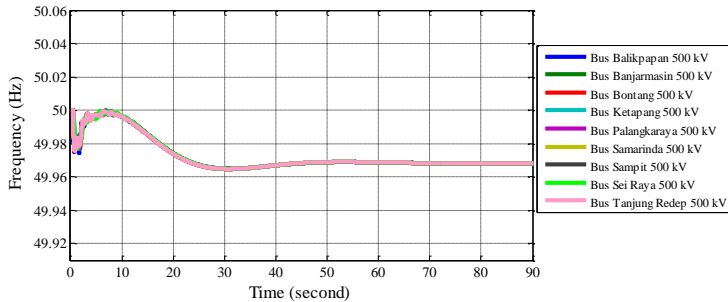
Pada Gambar 4.93, respon tegangan pada bus 150 kV saat Kaltimra Manggar 400 MW *trip* yaitu pada bus New Balikpapan dan Samboja. Bus New Balikpapan mengalami perubahan tegangan dari 0,965954 p.u menjadi 0,95191 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 28,677499 detik dengan tegangan 0,947161 p.u. Pada bus Samboja mengalami perubahan tegangan dari 0,9805 p.u menjadi 0,97997 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 24,290833 detik dengan tegangan 0,982625 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.



**Gambar 4.94** Respon Frekuensi Bus 150 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW *Trip*



**Gambar 4.95** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW *Trip*



**Gambar 4.96** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Kaltimra Manggar 400 MW Trip

Pada Gambar 4.96, respon frekuensi saat Kaltimra Manggar 400 MW trip pada bus 150 kV yaitu bus New Balikpapan dan bus Samboja. Pada bus New Balikpapan mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,988942 Hz. Bus Samboja mengalami perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 49,999193 Hz. Semua bus akan kembali *steady state* pada waktu 27,127499 detik dengan frekuensi 49,907643 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator Kalselteng Cempaka 400 MW dan Kalselteng Cempaka 400 MW(1) trip masih diperkanankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.

Pada Gambar 4.95, Respon tegangan yang terjadi saat generator Kaltimra Manggar 400 MW trip. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,974379 p.u menjadi 0,969169 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,970032 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,981729 p.u menjadi 0,980056 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,983356 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,963903 p.u menjadi 0,960776 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,963507 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,987857 p.u menjadi 0,987469 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,992008 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,97955 p.u menjadi 0,978579 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,982352 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,967625 p.u menjadi 0,963707 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,965485 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan

tegangan dari 0,982517 p.u menjadi 0,981788 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,985615 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,968187 p.u menjadi 0,967947 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,972189 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,962646 p.u menjadi 0,959727 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 26,8 detik dengan tegangan 0,962713 p.u.

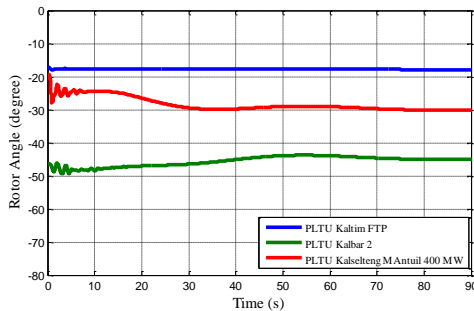
Pada Gambar 4.96, respon frekuensi saat generator Kaltimra Manggar 400 MW *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,99 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 39,377499 detik dengan frekuensi 49,96 Hz.

#### **4.2.24 Simulasi Kestabilan Kasus 2 Generator Outage pada PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW Tahun 2050 ( $t=0,2s$ )**

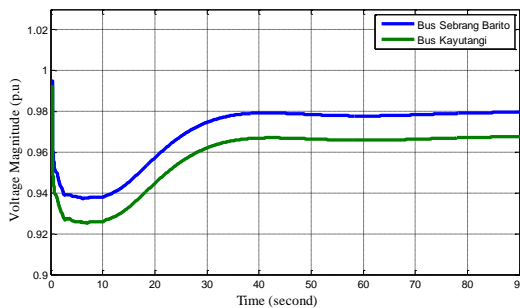
Saat generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip*, kapasitas daya dari masing-masing generator adalah 400 MW dengan daya yang dibangkitkan masing-masing sebesar 300 MW. Keseluruhan daya yang dibangkitkan pada tahun 2050 sebesar 13995 MW dengan total beban 13956,89232 MW. Dengan melihat keseluruhan daya yang dibangkitkan, sistem kehilangan suplai daya sebesar 600 MW atau 4,28%. Pada Gambar 4.97, ditunjukkan bahwa generator yang diamati adalah generator PLTU Kaltim FTP, PLTU Kalbar 2, dan PLTU Kalselteng Mantuil 400 MW. Generator PLTU Kaltim FTP mengalami perubahan sudut rotor -17,281147 *degree* menjadi -17,924169 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 3,3325 detik dengan sudut rotor -17,576987 *degree*. Pada generator PLTU Kalbar 2 mengalami perubahan sudut rotor yaitu -46,230106 *degree* menjadi -48,717104 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 68,852498 detik dengan sudut -44,797584 *degree*. Pada PLTU Kalselteng Mantuil 400 MW mengalami perubahan sudut rotor yaitu -19,43316 *degree* menjadi -27,80991 *degree* dan kembali *steady state* pada waktu 28,092499 detik -29,460102 *degree*. Perubahan sudut rotor merupakan pengaruh dari pembebanan pada generator dan momen inersia. Apabila momen inersia semakin besar maka perubahan sudut yang terjadi semakin kecil, maka sistem dapat dikatakan cenderung stabil. Hasil perubahan sudut rotor saat

generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* sistem masih dapat mempertahankan kestabilannya.

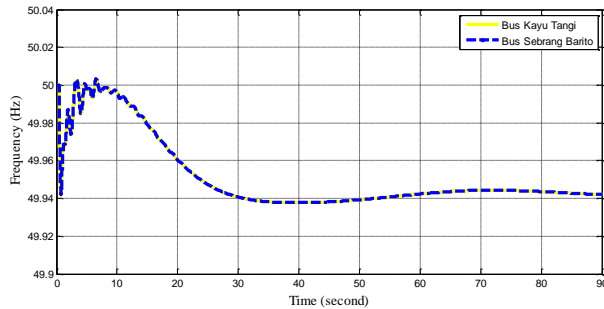
Pada Gambar 4.98, respon tegangan pada bus 150 kV saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* yaitu pada bus Sebrang Barito dan Bus Kayu Tangi. Bus Sebrang Barito mengalami perubahan tegangan dari 0,99199 p.u menjadi 0,971722 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 35,750833 detik dengan tegangan 0,966666 p.u. Pada bus Kayu Tangi mengalami perubahan tegangan dari 0,994951 p.u menjadi 0,979091 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 37,044166 detik dengan tegangan 0,97917 p.u. Perubahan tegangan yang terjadi karena suplai daya pada beban tidak tersuplai dengan penuh. Berdasarkan standar IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), perubahan tegangan yang terjadi masih diperkenankan.



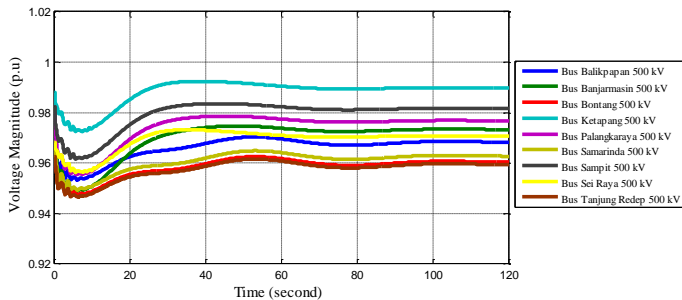
**Gambar 4.97** Respon Sudut Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*



**Gambar 4.98** Respon Tegangan pada Bus 150 kV Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*



**Gambar 4.99** Respon Frekuensi pada Bus 150 kV PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*



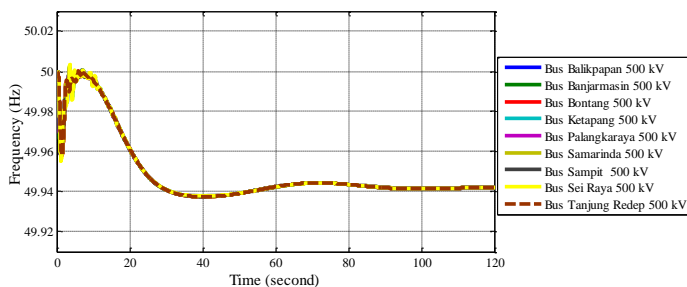
**Gambar 4.100** Respon Tegangan pada Bus 500 kV Saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*

Pada Gambar 4.99, respon frekuensi saat PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* pada bus 150 kV yaitu bus Kayu Tangi dan bus Sebrang Barito. Pada bus Kayu Tangi dan bus Sebrang Barito mengalami perubahan frekuensi yang sama yaitu 50 Hz menjadi 49,98 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 31,225833 detik dengan frekuensi 49,93 Hz. Perubahan frekuensi pada saat generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* masih diperkenankan karena sesuai dengan standar IEEE Std C37.95-2002.

Pada Gambar 4.100, Respon tegangan yang terjadi saat generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip*. Bus yang diamati merupakan bus *backbone* 500 kV. Perubahan tegangan pada bus Balikpapan yaitu 0,974379 p.u. menjadi 0,971668 p.u.

dan kembali *steady state* pada waktu 30,622499 detik dengan tegangan 0,9657 p.u. Bus Banjarmasin mengalami perubahan tegangan dari 0,981729 p.u menjadi 0,975312 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,535833 detik dengan tegangan 0,97243 p.u. Pada bus Bontang mengalami perubahan tegangan dari 0,963903 p.u menjadi 0,962317 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,485833 detik dengan tegangan 0,95761 p.u. Bus Ketapang mengalami perubahan tegangan yaitu 0,987857 p.u menjadi 0,986223 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,485833 detik dengan tegangan 0,99204 p.u. Bus Palangkaraya mengalami perubahan tegangan yaitu 0,97955 p.u menjadi 0,975731 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,612499 detik dengan tegangan 0,97737 p.u. Bus Samarinda mengalami perubahan tegangan 0,967625 p.u menjadi 0,965624 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,515833 detik dengan tegangan 0,9598 p.u. Bus Sampit mengalami perubahan tegangan dari 0,982517 p.u menjadi 0,979613 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,542499 detik dengan tegangan 0,98266 p.u. Bus Sei Raya mengalami perubahan tegangan dari 0,968187 p.u menjadi 0,967131 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,632499 detik dengan tegangan 0,97313 p.u. Pada bus Tanjung Redep mengalami perubahan tegangan 0,962646 p.u menjadi 0,961171 p.u dan kembali *steady state* pada waktu 30,622499 detik dengan tegangan 0,95669 p.u.

Pada Gambar 4.101, respon frekuensi saat generator PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *trip* yaitu pada bus 500 kV *backbone* sistem kelistrikan Kalimantan. Pada bus Balikpapan, Banjarmasin, Bontang, Ketapang, Palangkaraya, Samarinda, Sampit, Sei Raya, dan Tanjung Redep mengalami perubahan frekuensi yang hampir sama yaitu 50 Hz menjadi 49,9975 Hz dan kembali *steady state* pada waktu 39,377499 detik dengan frekuensi 49,943 Hz.

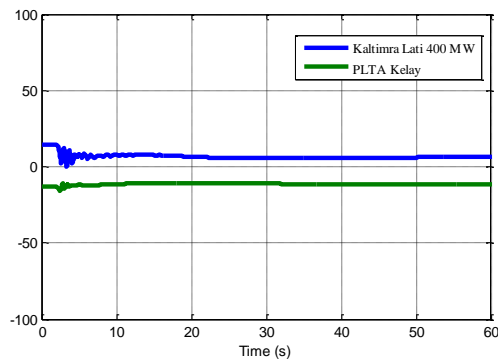


**Gambar 4.101** Respon Frekuensi pada Bus 500 kV PLTU Kalselteng GIS Ulin 400 MW dan PLTU Kalselteng Trisakti 400 MW *Trip*

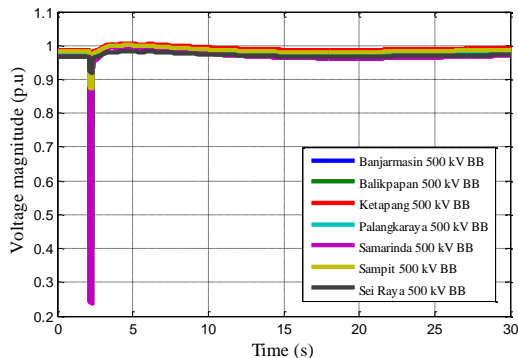


#### 4.2.25 Simulasi Kestabilan Transien Kasus 3 Gangguan *Short Circuit* pada Bus Bontang Tahun 2050 ( $t=2s$ )

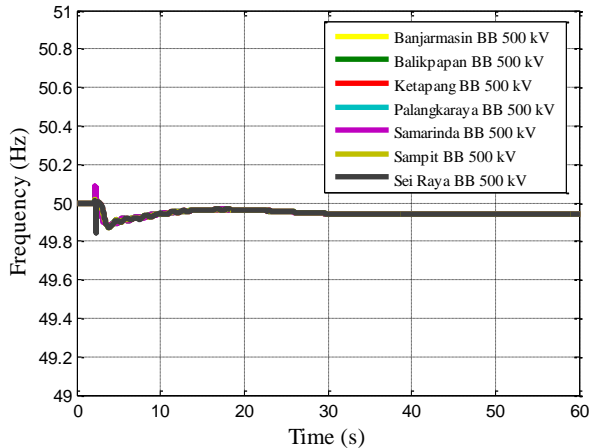
Respon sudut rotor saat bus Bontang mengalami gangguan *short circuit* 3 fasa mengalami perubahan pada Kaltimra Lati 400 MW yaitu dari 14,228807 *degree* menjadi 14,2213 *degree* dan kembali *steady state* pada detik ke- 54,659999 dengan sudut rotor 6,35849 *degree*. Pada generator PLTA Kelay mengalami perubahan dari -13,240344 *degree* menjadi -13,244538 *degree* dan kembali *steady state* dengan sudut rotor -11,301634 *degree* pada waktu 9,313333 detik. Respon sudut rotor dapat dilihat pada Gambar 4.102.



**Gambar 4.102** Respon Sudut Rotor Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Bontang



**Gambar 4.103** Respon Tegangan Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Bontang



**Gambar 4.104** Respon Frekuensi Bus 500 kV Saat Gangguan *Short Circuit* pada Bus Bontang

Pada Gambar 4.103, gangguan *short circuit* pada bus 500 kV Bontang, menyebabkan sistem mengalami perubahan respon tegangan pada masing-masing bus. Dengan perubahan tegangan tertinggi pada bus Samarinda yaitu dari 0,967625 p.u menjadi 0,247971 p.u dan kembali *steady state* pada 0,96407 p.u dengan waktu 13,768333 detik. Sedangkan perubahan tegangan paling rendah terjadi pada bus Sei Raya dengan perubahan tegangan sebesar 0,968187 p.u menjadi 0,9272 p.u dan kembali *steady state* saat 0,96813 p.u pada waktu 14,211666 detik. Perubahan terjadi pada detik ke-2,0075 sesaat setelah terjadinya gangguan *short circuit*.

Analisis respon frekuensi saat gangguan *short circuit* pada bus Bontang *backbone* 500 kV mengalami perubahan frekuensi pada sistem namun tidak terlalu besar. Perubahan frekuensi paling tinggi terjadi pada bus Banjarmasin dengan perubahan frekuensi dari 50 Hz menjadi 50,009336 Hz pada waktu 2,019167 sekon. Perubahan frekuensi tersebut juga terjadi pada bus *backbone* 500 kV yang lain yaitu bus Balikpapan, Samarinda, Ketapang, Palangkaraya, Sampit, dan Sei Raya. Meskipun mengalami perubahan frekuensi namun sistem kembali *steady state* pada waktu 29,329999 sekon pada frekuensi 49,94 Hz dan masih dalam batas aman. Hasil simulai dapat dilihat pada Gambar 4.104.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan dan pola operasi sistem kelistrikan Kalimantan menggunakan *backbone* 500 kV pada tahun 2023-2050 menunjukkan hasil yang optimal seiring dengan penambahan beban setiap tahunnya.
2. Hasil simulasi berdasarkan kasus *generator outage* untuk memperoleh sudut rotor terbesar mencapai 43,74773 *degree* pada generator PLTU Sinar Mas pada tahun 2029. Untuk respon tegangan dan frekuensi, hasil yang diperoleh masih dalam batas aman dan sesuai dengan standar. Dapat disimpulkan pengoperasian sistem kelistrikan Kalimantan *backbone* 500 kV dalam keadaan stabil.
3. Hasil simulasi berdasarkan kasus *short circuit* pada bus *backbone* 500 kV mengalami perubahan tegangan dan frekuensi dengan osilasi yang cukup tinggi dan sistem kembali stabil. *Short circuit* pada saluran *double circuit* 500 kV dan 150 kV cenderung mengalami osilasi yang kecil sehingga tidak memiliki pengaruh besar pada sistem.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan untuk seperti data saluran, data pembangkit, dan data trafo diperlukan data asli yang lebih lengkap agar memperoleh hasil yang optimal.
2. Saat melakukan simulasi untuk rating tegangan 500 kV sebaiknya menggunakan *total simulation time* yang lebih panjang untuk mendapatkan hasil yang lebih handal.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

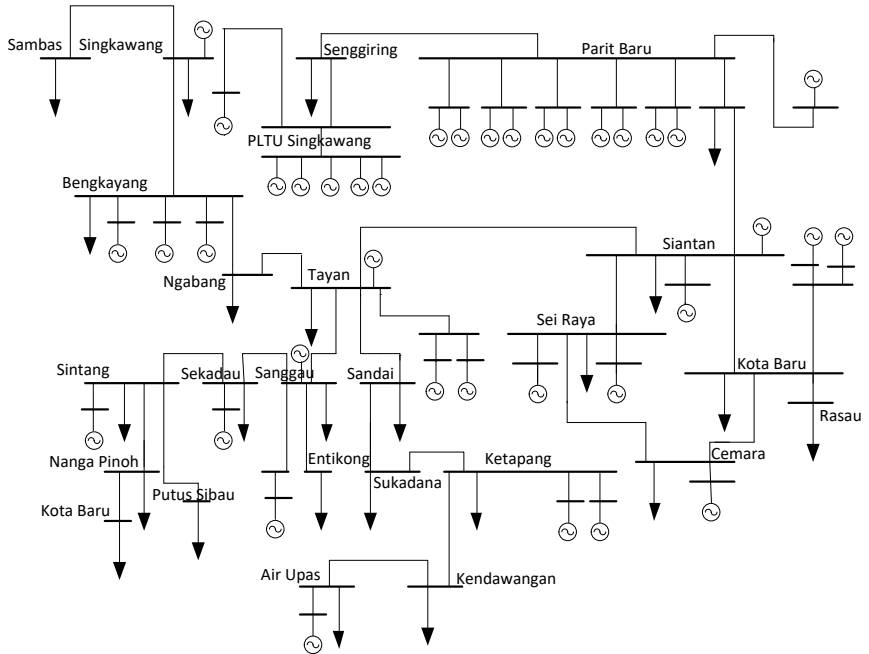
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Jena and M. T. Scholar, "Load Flow Analysis And Optimal Allocation of SVC In Nine Bus Power System," *2018 Technol. Smart-City Energy Secur. Power*, pp. 1–5, 2018.
- [2] M. Singh, S. Mishra, S. Ralhan, and B. C. Rao, "Improving Stability in Power System Network Using Tuned Controller," *2017 Recent Dev. Control. Autom. Power Eng.*, vol. 3, pp. 3–7, 2017.
- [3] I. J. T. F. on S. T. and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 2, pp. 1387–1401, 2004.
- [4] M. Hammad and A. Harb, "Static Analysis for Voltage Stability of the Northern Jordanian Power System," *2018 9th Internaional Renew. Energy Congr.*, pp. 1–5, 2018.
- [5] I. R. Kusuma, A. P. System, and S. Requirement, "Transient Stability Analysis of General Cargo Shipboard Power System," *2017 Int. Conf. Adv. Mechatronics, Intell. Manuf. Ind. Autom.*, pp. 171–175, 2017.
- [6] H. Huang, Z. Xu, W. Wang, and C. Wang, "Transient stability analysis of Shanghai Power Grid with multiple HVDC links," *Power Syst. Technol. ....*, pp. 1–6, 2010.
- [7] S. Zadkhast, J. Jatskevich, and E. Vaahedi, "A Multi-Decomposition Approach for Accelerated Time-Domain Simulation of Transient Stability Problems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 5, pp. 2301–2311, 2015.
- [8] F. Su, B. Zhang, S. Yang, and H. Wang, "A Novel Termination Algorithm of Time Domain Simulation for Power System Transient Stability Analysis Based on Phase-plane Trajectory Geometrical Characteristic," *5th Int. confrence Electr. Util. Deregul. an restruturing power Technol.*, p. 5, 2015.
- [9] R. Faizal, M. Nurdin, R. Faizal, and S. Pack, "Sumatra-Java HVDC Transmission System Modelling And System Impact Analysis," *PowerTech*, 2015.
- [10] S. R. Shilling, "Electrical Transient Stability and Underfrequency Load Shedding Analysis for a Large Pump Station," vol. 33, no. 1, pp. 194–201, 1997.
- [11] J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. Overbye, "Power Systems Analysis and Design." p. 768, 2012.

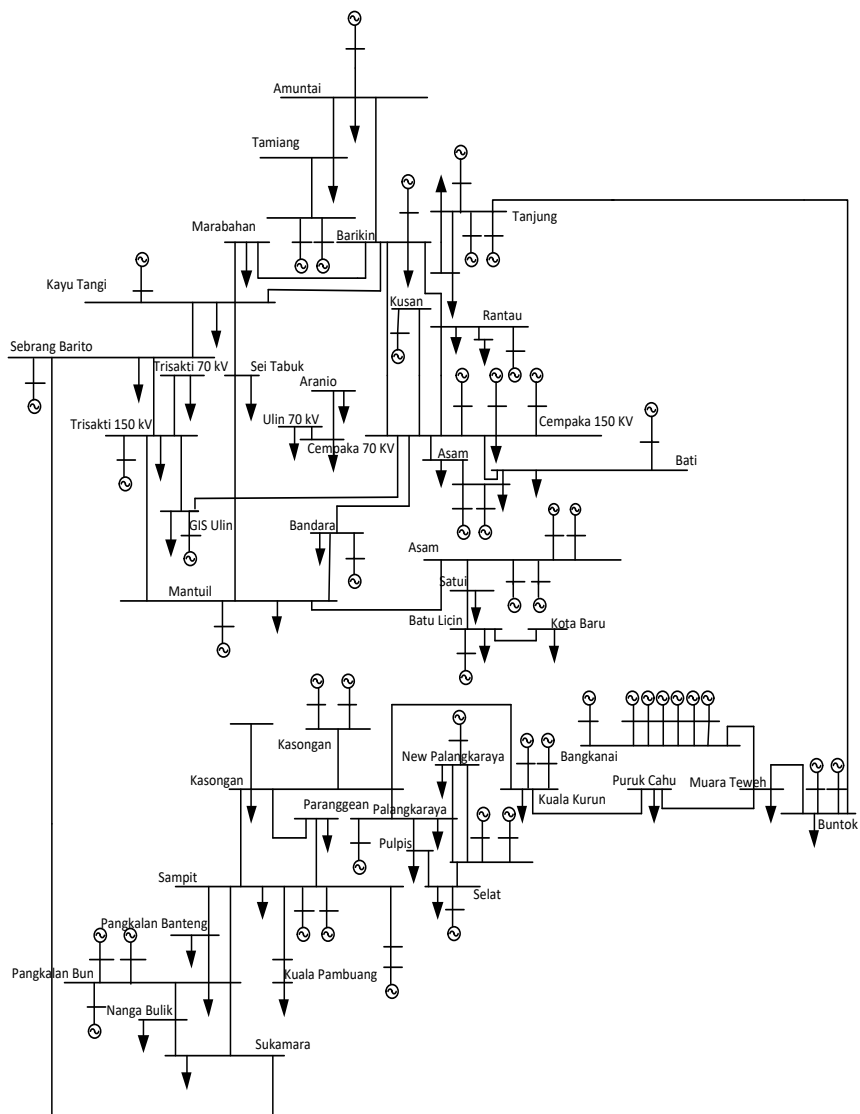
- [12] L. L. Grigsby, *Power System Stability and Control*, Third Edit. 2012.
- [13] C. W. Taylor, *Power System Voltage Stability*. McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [14] A. A. Sallam and O. P. Malik, *Power System Stability*. 2003.
- [15] P. Kundur, *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [16] J. J. Grainer and W. Stevenson, *Power System Analysis*. 1994.
- [17] U. Manual, "DigSILENT PowerFactory 15," vol. 15.1, p. 1427, 2013.
- [18] IEEE, *IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*, vol. 1, no. September. 2002.
- [19] IEEE and Institute of Electrical and Electronic Engineers, *IEEE Std 1159 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*., vol. 2009, no. June. 2009.

## LAMPIRAN

### *Single Line Diagram Kalimantan Barat 150 kV*

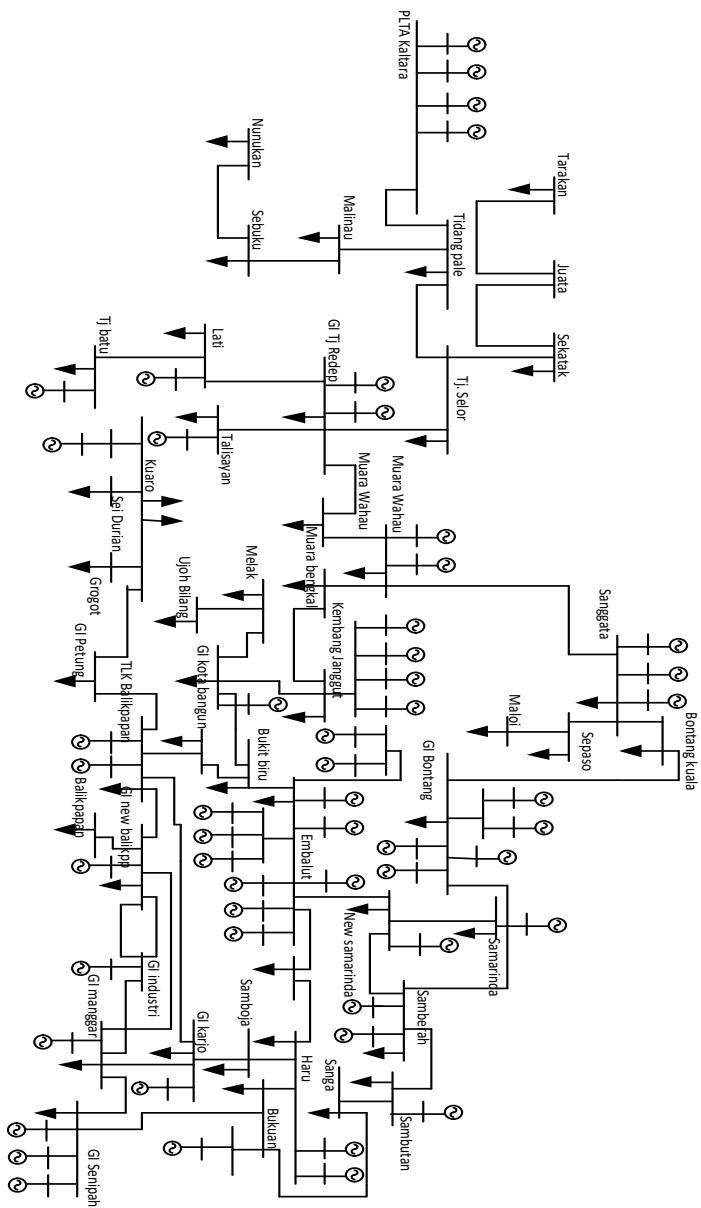


Single Line Diagram Kalimantan Selatan-Kalimantan Tengah 150 kV





Single Line Diagram Kalimantan Timur-Kalimantan Utara 150 kV



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## INDEKS

### A

Abnormal, xix, 14, 124  
Accelerating Torque, 12

### B

Backbone, xv, xvi, xix, xx, xxv,  
17, 18, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35,  
44, 59, 60  
Beban, xv, xxv, 18, 19, 20, 21,  
22, 23

### C

Continuous operation, 14

### D

Daya Elektromagnetik, 13  
Daya Input, 10  
Daya Mekanik, 13  
Daya Output, 10  
Daya Reaktif, 1, 9  
Daya Suplai, 9  
Degree, 41, 45, 49, 51, 55, 59,  
61, 65, 69, 71, 75, 79, 82, 86, 90,  
93, 96, 100, 102, 106, 109, 111,  
115, 119, 121  
Disturbance, 7, 10  
Double Circuit, ix, xi, 3, 4, 36,  
49, 50, 51, 59, 69, 70, 79, 80, 81,  
90, 91, 92, 101, 121  
Drop Voltage, 1

### E

Efektif, 15  
Efisien, 2  
Electromagnetic Transient, 11,  
14

Electromechanical Transient,  
11  
Equilibrium Point, 9

### F

First Swing, 9  
Flowchart, 37  
Frekuensi, ix, 1, 2, 3, 4, 5, 9, 14,  
36, 41, 42, 45, 46, 48, 51, 53, 55,  
56, 58, 60, 63, 67, 68, 70, 73, 75,  
77, 79, 81, 84, 85, 88, 89, 92, 94,  
96, 98, 100, 101, 103, 105, 108,  
109, 111, 114, 115, 117, 118,  
120, 121

### G

Gangguan, xvi, xvii, xix, xx,  
xxi, xxiii, xxiv, 1, 7, 8, 9, 11, 49,  
50, 59, 60, 68, 69, 79, 80, 81, 82,  
85, 109, 110, 111, 119, 120  
Generator Outage, xvi, xvii, 39,  
41, 51, 55, 61, 64, 82, 85, 92, 96,  
102, 106, 111, 115  
Generator Sinkron, 12

### H

Hubung Singkat, ix, 9

### I

Inersia, 12, 41, 52, 61, 71, 75,  
82, 86, 93, 96, 102, 106, 112,  
115  
Isolated, 17

### K

Kalimantan, v, ix, xi, xv, xvi,  
xxv, 1, 2, 3, 4, 17, 18, 19, 20, 21,

22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,  
31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 45, 48,  
58, 63, 68, 70, 75, 79, 80, 81, 85,  
89, 91, 92, 96, 100, 105, 109,  
115, 118, 121, 125, 126, 127  
Kelistrikan, ix, 2, 3, 4, 5, 7, 17,  
36, 39, 45, 48, 58, 63, 68, 70, 75,  
79, 80, 81, 85, 89, 91, 92, 96,  
100, 105, 109, 115, 118, 121  
Keseimbangan, 1, 7, 9  
Kestabilan, ix, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8,  
9, 10, 11, 13, 18, 36, 39, 41  
Konfigurasi, 7

## **L**

Line, xi, 3, 4, 7, 18, 36, 39  
Load Flow, 4, 36

## **M**

Master Plan, ix, xi, 3, 4  
Momen Inersia, 41, 52, 61, 71,  
75, 82, 86, 93, 96, 102, 106,  
112, 115  
Momentum, 13  
Motor Starting, 9

## **O**

Operasi, 7, 8, 9, 10, 14, 121  
Osilasi, 1, 8, 11, 121  
Output, 2

## **P**

Periodik, 7  
Postdisturbance, 10  
Predisturbance, 10  
Prime Mover, 12  
Prohibited Operation, 14

## **R**

Rotor, ix, xi, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9,  
10, 11, 12, 13, 36, 41, 45, 49, 51,  
55, 59, 61, 65, 69, 71, 75, 79, 82,  
86, 90, 93, 96, 100, 102, 106,  
109, 111, 115, 119, 121

## **S**

*Short circuit*, ix, xi, 1, 3, 4, 7, 9,  
36, 39, 41, 49, 50, 51, 59, 60, 69,  
70, 79, 80, 81, 90, 91, 92, 100,  
101, 110, 111, 119, 120, 121  
Sistem Transmisi, ix, 1, 2, 3, 4,  
17, 39  
Small Signal Stability, 8  
Stabil, ix, 1, 2, 4, 9, 10, 11, 36,  
42, 52, 61, 71, 75, 82, 86, 93, 96,  
102, 106, 110, 112, 115, 121  
Steady State, xi, 7, 13, 41, 42,  
43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53,  
54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62,  
63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72,  
73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82,  
83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,  
92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100,  
102, 103, 104, 105, 106, 107,  
108, 109, 110, 111, 113, 114,  
115, 116, 117, 118, 119, 120  
Sudut Daya, 10  
Sudut Rotor, 1, 8, 9, 10, 12, 41,  
45, 49, 51, 55, 59, 61, 65, 69, 71,  
75, 79, 82, 86, 90, 93, 96, 100,  
102, 106, 109, 111, 115, 119  
Swing, 11, 13

## **T**

Temporary, 15  
Time Domain Simulation, v, ix,  
xi, xv, 2, 13, 123

Torsi Akselerasi, 12  
Torsi Elektromagnetik, 1, 12  
Torsi Mekanik, 1, 9, 12  
Transien, v, ix, xv, xvi, xvii, xix,  
xxv, 4, 9, 10, 11, 13, 14, 36, 39,  
40, 41, 45, 49, 51, 55, 59, 61, 64,  
68, 71, 75, 79, 82, 85, 90, 92, 96,  
100, 102, 106, 109, 119  
Transmisi, ix, 1, 2, 4, 7, 9, 11,  
18

## **U**

Undervoltage, 15

## **W**

Waktu, ix, 1, 2, 10, 11, 12, 13,  
14, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48,  
49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58,  
59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 68,  
69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78,  
79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87,  
88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,  
98, 99, 100, 102, 103, 104, 105,  
106, 107, 108, 109, 111, 113,  
114, 115, 116, 117, 118, 119,  
120

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

DigSILENT	: <i>Digital Simulation and Electrical Network Calculation Program</i>
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
RUPTL	: Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
TDS	: <i>Time Domain Simulation</i>
J	: Total momen kelembaban dari masa rotor ( kg-m <sup>2</sup> )
$\theta_m$	: Pergeseran sudut rotor terhadap sumbu diam (Rad)
t	: Waktu (detik)
$T_a$	: Percepatan bersih pada momen putar ( $N_m$ )
$T_m$	: Poros penggerak yang diberikan <i>primover</i>
$T_e$	: Momen putar listrik atau elektromagnetik ( $N_m$ )
$\omega_m t$	: Kecepatan sinkron mesin ( radian/ detik )
$\delta_m$	: Sudut pergeseran rotor ( <i>mechanical radians</i> )
$T_m$	: Torsi mekanik
$T_e$	: Torsi elektrik
$P_m$	: Daya mekanik
$P_e$	: Daya elektrik
MJ	: Mega joule
Hz	: Hertz

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----



## RIWAYAT HIDUP



**Nur Atiqah Rianty Sari.** Lahir di kota Surabaya, 15 September 2015. Penulis memulai jenjang pendidikannya di SDN Kebraon II/437 dari tahun 2001 sampai dengan tahun 2007. Setelah itu penulis melanjutkan studi di SMP Negeri 24 Surabaya hingga tahun 2010. Penulis masuk SMA Negeri 10 Surabaya dan lulus tahun 2013. Pada tahun 2013, penulis masuk ke jurusan D3 Teknik Elektro *Computer Control* dan dapat menyelesaikan studi hingga tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan studi program Sarjana Lintas

Jalur Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi melalui [nuratiqahrianty@gmail.com](mailto:nuratiqahrianty@gmail.com).

